Populäre Naturlehre

mit besonderer Rücksicht auf die

Chemie und verwandten Wissenschaften.

Von

M. Becquerel,

Mitglied der Akademie und erster Professor am naturgeschichtlichen Museum in Paris, Mitglied der königl. Societät in London, der Akademie in Berlin und vieler gelehrten Gesellschaften.

In neun Theilen,
mit einer Menge von Abbildungen.

Aus dem Französischen
von
Professor G. Kißling.

Zweiter Theil.
Mit Tafel III. u. IV.

Herausgegeben von der „Gesellschaft zur Verbreitung guter und wohlfeiler Bücher.“

Stuttgart, 1845.

Verlag von Scheible, Rieger & Sattler.

(Preis pro Theil 18 kr. oder $4^1/_2$ ggr.)

Von den Linsengläsern.

Man hat bereits gesehen, daß Roger Baco einer von den Ersten war, welcher von den Eigenschaften der Gläser mit sphärischen Flächen handelte, Eigenschaften, welche uns die Körper unter kleineren oder größeren Dimensionen zeigen, als sie wirklich haben. Diese Gläser, welche man seitdem wegen ihrer Gestalt Linsengläser genannt hat, dienen zur Verfertigung der Brillen, der Mikroskope und verschiedener optischer Instrumente.

Nach ihren Oberflächen sind die Linsengläser sphärisch, elliptisch, parabolisch, cylindrisch; die Physiker haben sich aber vorzüglich mit den ersteren beschäftigt, weil sie allein zu der Zusammensetzung der nützlichsten Instrumente genommen werden. Wenn man auf alle mögliche Arten die ebenen und sphärischen Flächen verbindet, so erhält man sechs verschiedenartige Linsengläser, die zu verschiedenen Zwecken dienen.

Bei dem Studium der Linsengläser unterscheidet man unter anderm folgende Theile: die Axe, oder mathematische Linie, welche die beiden Krümmungsmittelpunkte der Flächen verbindet, das optische Centrum, welches die Eigenschaft besitzt, daß alle Lichtstrahlen, welche von demselben ausgehen, bei ihrem Herausfahren aus der Linse, nachdem sie gebrochen worden sind, eine Richtung annehmen, welche mit derjenigen parallel ist, die sie bei ihrem Eintreten hatten. Bei den sphärischen Krümmungen bilden nicht alle Strahlen, die von irgend einem Punkte ausgehen, einen Brennpunkt an derselben Stelle; daher die Abweichung

wegen der Kugelgestalt, ein Nachtheil, dem man mit Linsengläsern von elliptischer oder parabolischer Krümmung ausweicht, weil die Strahlen, die von einem leuchtenden Punkte ausgehen, parallel sind. Diese Bedingung wird durch die dialytische Linsen erfüllt, wovon jede aus einer gewöhnlichen planconvexen Linse und aus ringförmigen sphäroprismatischen Stücken besteht

Buffon wollte dialytische Linsen verfertigen; es gelang ihm aber nicht, ganz befriedigende Resultate zu erhalten, weil er die theilweisen Linsen aus einem einzigen Stück Glas schneiden ließ. Fresnel nahm die Frage wieder auf und löste sie vollständig; er berechnete zuerst die Krümmungen von einem jeden der Ringe und gab sodann an, wie man sie mit Genauigkeit bearbeiten könne. Arago verband sich mit ihm in der Absicht, Versuche anzustellen, um die besten Mittel aufzufinden, ein lebhaftes Licht in dem Brennpunkte dieser Linsen hervorzubringen, welche es möglich machen an die Stelle der Leuchtthürme mit Reflexion, die Leuchtthürme mit Refraktion zu setzen, welche einen großen Vorzug vor denselben haben. In dem Brennpunkte dieses Lichtsystemes hat man eine Lampe mit vier concentrischen Döchten angebracht, deren Licht auf eine Entfernung von 10 bis 12 französischen Meilen auf der See sichtbar ist. Dieses Beleuchtungssystem wird heutzutage an den französischen Küsten angewandt.

Wie viele Forschungen sind bereits über die Brechung des Lichtes angestellt worden! Sie beweisen, daß die Brechung wegen ihrer Anwendung und wegen der Folgerung, die man daraus für die Theorie des Lichtes ziehen kann, einer der wichtigsten Theile der Optik ist. Der Beweis dafür ist der, daß die Emanations- und Undulationstheorie immer gesucht haben, das Gesetz der Brechung mit der Hypothese zu vereinigen, die ihnen zum Ausgangspunkte diente.

6. Von der Zersetzung und von der Wiederzusammensetzung des Lichtes; — von der Zerstreuung; — von dem Achromatismus.

Nach dem Aristoteles und seinen Anhängern hing die Farbe von einer den farbigen Körpern inhärirenden und von dem Lichte unabhängigen Eigenschaft ab. Die Cartesianer nahmen ihrerseits das Vorkommen eines Mediums an, das durch die Wirkung der farbigen Körper in Bewegung gesetzt werde, und welches diese Wirkung auf das Sehorgan fortpflanzen. Newton gab aber eine genaue Erklärung der Farben an, indem er die Phänomene analysirte, welche bei der Zersetzung des Lichtes vermittelst des Prisma stattfinden. Dieser große Physiker fing mit dem Beweise an, daß ein Strahl weißen Lichtes aus sieben Reihen verschiedener Strahlen bestehe, wovon jeder eine besondere Empfindung auf der Netzhaut hervorbringe. Diese Strahlen sind nach ihrer Brechbarkeit folgendermaßen geordnet: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo, violett; dieser letztere ist der brechbarste.

Um die Zersetzung des Lichtes zu erhalten, darf man nur einen Sonnenstrahl durch ein Prisma brechen und das Bild auf einem Blatt weißer Pappe in einem dunklen Zimmer auffangen. Anstatt des Sonnenbildes, welches kreisrund ist, sieht man ein gestrecktes Bild, das senkrecht auf den parallelen Kanten des Prisma steht, die oben angezeigten Farben enthält und dessen Ganzes das ausmacht, was man das Sonnenspektrum nennt. Wenn man mit Prismen aus verschiedenen farblosen Substanzen, welche den nämlichen Winkel und die nämliche Lage haben, experimentirt, so folgen die Farben immer in der nämlichen Lage auf einander, sie nehmen aber in dem Spektrum keine proportionale Räume ein. Die Zersetzung des Lichtes rührt von der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen Reihen leuchtender Strahlen her.

Newton hatte als Princip angenommen, daß jeder Strahl eine ihm eigenthümliche Brechbarkeit besitze; daraus ging natürlicher Weise hervor, daß gleich brechbare Strahlen auf uns die nämliche Empfindung der Farbe hervorbringen müssen; wir werden aber weiter unten sehen, daß Brewster gezeigt hat, daß dem nicht immer so sei. Nachdem Newton das weiße Licht in verschiedene farbige Strahlen zersetzt hatte, so setzte er dasselbe Licht dadurch wieder zusammen, daß er die mannigfaltig gefärbten Strahlen in einem und demselben Punkte wieder vereinigte. Vermittelst der Zerstreuungsgesetze kann man die regenbogenartigen Farben eines Körpers erklären, den man durch ein Prisma betrachtet. Newton gab eine empirische Regel, vermittelst welcher er die zusammengesetzte Farbe bestimmte, welche durch das Uebereinanderlegen mehrerer prismatischer Farben hervorgebracht wurden. Diese Regel, welche durch eine große Menge Versuche bestätigt wurde, besteht darin, eine Kreisfläche in sieben verschiedenen Sektoren einzutheilen, deren Winkel er angab. Wenn man annimmt, daß jeder dieser Sektoren eine von den Farben des Spektrums hat, so stellt das Verhältniß der Größe dieser Sektoren das Verhältniß der farbigen Räume des Spektrums vor. Dreht man nun ein solches Spektrum schnell um seinen Mittelpunkt, so erscheint es merklich weiß.

Die Brechung eines weißen Lichtstrahls durch irgend eine Substanz muß wegen seiner Zusammensetzung und der Verschiedenheit der Brechbarkeit der farbigen Strahlen mehreren gebrochenen Strahlen das Dasein geben. Man hat also die Brechungsindexe von jedem farbigen Strahle zu bestimmen; Frauenhoffer hat als feste Linie bei jedem Strahle des Spektrums den Hauptstrich angenommen, der ihm entspricht und wovon bald die Rede sein wird.

Da das weiße Licht aus allen den einfachen Far-

den, welche in dem Verhältnisse, das das Spektrum gibt, genommen werden, gebildet wird, so folgt daraus, daß, wenn man eine von diesen Farben wegnimmt oder das Verhältniß derselben verändert, das Licht nicht mehr weiß ist. In diesem Falle kann man das weiße Licht ansehen, als bestehe es sowohl aus dem weggenommenen Lichte, als auch aus dem an dem Körper bleibenden Lichte; diese beiden Farben werden die complementären von einander genannt. Die Frage der complementären Farbe hat Newton sehr beschäftigt, welcher eine Regel aufgestellt hat, mit welcher man die complementäre Farbe von irgend einer Färbung erhalten kann.

Es sind verschiedene Theorien zu Erklärung der Farbe der Körper aufgestellt worden. Newton meinte, daß die Farben der Körper ihnen nicht inhäriren, und daß sie von der besonderen Anordnung der Molekülen herkämen, durch welche sie geeignet gemacht werden, die Strahlen einer und derselben Farbe in größerer Menge zu reflektiren und die anderen durchzulassen, auszulöschen oder zu absorbiren.

Um die Farben der Körper zu erklären, nahm Mayer nur drei Urfarben an, das Rothe, das Gelbe und das Blaue, ohne das Schwarze dazu zu zählen, welches aus der Abwesenheit des Lichtes entspringt.

Young wählte zu den drei Urfarben das Rothe, das Grüne und das Violette; endlich gab Brewster auch eine andere Analyse des Spektrums. Dieser Physiker nimmt die drei Farben des Mayers an, und stellt sodann als Grundsatz auf, daß das Sonnenspektrum aus der Uebereinanderlegung von drei Spektren bestehe, wovon jedes von gleichartiger Farbe, von gleicher Größe ist, bei welchem aber das Maximum der Intensität nicht auf gleiche Weise angebracht ist. Demzufolge bestünde also irgend eine Farbe des Spektrums aus drei Grundfarben in verschiedenen Verhältnissen. Brewster gründete seine Theorie

auf die Thatsache, daß, wenn man Lichtstrahlen in gleichfarbige Auflösungen gehen lasse, diese ein Gemisch von Strahlen von dieser Farbe und von Strahlen von einer anderen Farbe durchgehen lassen. Die Hypothese des englischen Physikers kann die Erscheinungen, wie die Newton'sche erklären; wir werden auf diese Theorien wieder zurückkommen.

Das Sonnenspektrum zeigt noch mannigfaltige Eigenschaften, unter anderm aber eine, welche Wollaston zuerst bemerkt zu haben scheint, und wovon Frauenhoffer eine vollständige Beschreibung gab. Diese Eigenschaft besteht nun darin: wenn man ein Spektrum mit einem Vergrößerungsglase beobachtet, so sieht man, daß es der Quere nach von einer großen Anzahl von Strichen oder sehr schmalen schwarzen Streifen durchfurcht ist; diese Striche sind in dem Inneren des Spektrums ungleich vertheilt, und man zählt nicht weniger als 600, unter welchen man 7 unterscheidet, die leichter zu erkennen sind und wovon einer auf jede Farbe kommt. Frauenhoffer hat beobachtet, daß sich bei jedem verschiedenen Prisma die relative Stellung der Striche ein wenig ändert, und daß nicht jedes Licht die nämlichen Resultate gibt. Diese Eigenschaft hat es möglich gemacht, die verschiedenen Lichter unter sich zu vergleichen.

Frauenhoffer, welcher eine große Menge Versuche über die Striche anstellte, fand, daß bei der nämlichen Art von Licht die Zahl der Striche, ihre Gestalt und ihre Anordnung ganz unabhängig von dem Brechungswinkel des Prisma seien; daß die Striche des unmittelbaren Sonnenlichtes die nämlichen sind, wie die von dem Lichte der Planeten, des Mondes, der Wolken, der Atmosphäre, während das Licht der Sterne, der Flammen, der Elektricität Striche gibt, die auf eine andere Weise geordnet sind und daß das elektrische Licht, das Lampenlicht, die Flamme des Alkohols glänzende Striche

anstatt der dunkeln geben. Das Licht, welches in das salpetrigsaure Gas oder in andere farbige Gase übergeht, bringt ein Spektrum hervor, in welchem man schwarze Striche bemerkt, die unregelmäßig und von der Natur dieser Gase abhängig sind.

Ohne daß man bis jetzt angeben kann, worin die wahre Ursache dieser Striche bestehe, ist man geneigt anzunehmen, daß sie von dem Einsaugen gewisser Strahlen bei dem Durchgange des Lichts durch die Luft oder verschiedene Medien herrühre.

Man sieht jetzt, warum die Striche des Spektrums zu festen Punkten dienen könne, um mit einer großen Genauigkeit die Brechungsindexe der vorzüglichsten farbigen Strahlen zu bestimmen; denn sie gestatten es, verschiedene Theile des Spektrums, mit welchen man operiren will, sehr genau abzusondern.

Von dem Regenbogen, den Höfen und den Nebensonnen.

Die Zersetzung des Lichts, seine Reflexion und seine Brechung sind die Ursache der Entstehung des Regenbogens, der Höfe und der Nebensonnen; wir können uns nicht enthalten, einige Worte hierüber zu sagen, obgleich wir die Absicht haben, diese Erscheinungen in diesem Werke auf das Ausführlichste vorzutragen, denn wir dürfen nichts von dem auslassen, was auf das Licht Bezug hat. Man weiß, daß der Regenbogen jedesmal entsteht, wenn ein Zuschauer mit dem Rücken gegen die Sonne gekehrt eine ihm gegenüberstehende Wolke, die sich in Regen auflöst, betrachtet. Sehr häufig sieht man zwei Bögen, einen inneren, dessen Farben lebhafter sind und einen äußeren, blasseren, der auch die Farben des Prisma jedoch mit dem Unterschiede zeigt, daß in dem inneren Bogen das Rothe ganz oben ist, während es in dem andern das Violette ist; diese beiden Bögen rühren von den combinirten Wirkungen der

Brechung, der Zersetzung und der Reflexion des Lichtes in den Regentropfen her; sie zeigen sich nur dann, wenn die einfallenden Strahlen einen gewissen Winkel mit den ausfahrenden machen.

Anton v. Dominis hat es zuerst versucht, eine rationelle Theorie von dem Regenbogen zu geben. Er gab an, auf welche Weise die verschiedenen Beugungen des Lichtes in den Regentropfen statthaben müssen, da aber seine Angabe in Beziehung auf den äußeren Bogen nicht genau war, so zeigte Descartes den Irrthum und gab auf eine genauere Weise den Gang der Strahlen an. Als Newton die Erklärung der Erscheinung über sich genommen hatte, so gab er ihr den Grad der Vollkommenheit, der ihr zu ihrer Vollständigkeit noch abging. Wir werden uns wegen der ausgedehnten Entwicklungen, die wir geben müßten, wenn wir uns verständlich machen wollten, in keine Einzelnheiten einlassen und bloß anführen, daß die Ursachen des Regenbogens dergestalt bekannt sind, daß man durch die Rechnung die Lage und die Größe eines jeden der farbigen Streifen, woraus er besteht, bestimmen kann; daß alle Farben sich auf mehr oder weniger offenen konischen Flächen befinden, wovon alle die durch den Mittelpunkt der Sonne und des Auges des Beobachters gezogene Linie zur gemeinschaftlichen Achse haben, daß der Konus des violetten inwendig ist und mit der Achse einen Winkel von 40° 17′ bildet; der Konus des rothen auswendig und mit der Achse einen Winkel von 42° 1′ bildet; daß die Größe des farbigen Bogens von der Höhe der Sonne über dem Horizonte abhänge.

Die Höfe sind glänzende und gewöhnlich farbige Kränze, welche bisweilen die Scheibe der Sonne oder des Mondes, welche der Mittelpunkt derselben ist, umgeben. Der Raum, der zwischen den Rändern des Gestirns und dem Innern der leuchtenden Kreise ist, hat ein stärkeres Grau oder dunkleres Blau als die

Farbe der Atmosphäre. Bisweilen bemerkt man einen zweiten Hof, der den ersten umgibt; dieses Phänomen hat die Aufmerksamkeit einer großen Anzahl von Physikern und insbesondere die des Descartes, Huyghens, Mariotte u. s. w. auf sich gezogen. Descartes meinte, daß er von dem Uebergange der leuchtenden Strahlen in gewisse kleine Sternchen herrühre, welche sich in dem Schnee befinden und durchsichtig werden, wenn die Wärme anfange, sie zu schmelzen. Das Licht erzeuge bei seinem Durchgange durch zwei Reihen kleiner Sternchen den zweiten Kranz. Huyghens nahm anstatt der kleinen Sternchen Kügelchen von Wasser oder Eis an, die in ihrem Mittelpunkt einen undurchsichtigen Kern haben, der aus einer Art von Graupen bestände.

Mariotte vermuthete, daß der Hof der Gestalt kleiner durchsichtiger und prismatischer Eisnadeln zuzuschreiben sei. Diese Hypothese gewinnt bei der Untersuchung, wie wir sehen werden. Endlich hat Arago eine Beobachtung angestellt, welche bei der Erklärung, die man von den Höfen geben will, in Erwägung gezogen werden muß; diese Beobachtung beweist wirklich, daß das Licht der Höfe gebrochenes Licht ist, was auf die Annahme führt, daß das Phänomen von der Gegenwart von Eistheilchen in den hohen Regionen der Atmosphäre herrühre.

Die Nebensonnen sind unächte Sonnen, Bilder der ächten Sonne, die sich bisweilen über dem Horizonte in der nämlichen Höhe mit diesem Gestirne zeigen und welche immer durch einen weißen gleichfalls horizontalen Kreis, dessen Pol im Zenith ist, mit einander verbunden sind; dieser Kreis folgt der scheinbaren Bewegung der Sonne. Die Bilder der Sonne, welche auf dem Kreise auf der nämlichen Seite mit der Sonne erscheinen, zeigen die Farben des Regenbogens und bisweilen ist der Kreis selbst in dem Theile, der sich in ihrer Nähe befindet, farbig;

die auf der entgegengesetzten Seite liegenden Bilder sind immer farblos; diese müssen durch Reflexion gebildet werden, so wie der große Kreis und die anderen durch Refraktion entstanden sind. Um die Beschreibung des Phänomens vollständig zu machen, wollen wir noch anführen, daß man, wenn es entsteht, gewöhnlich um die Sonne herum einen oder mehrere kreisförmige concentrische Kränze, welche die Farben des Regenbogens zeigen und auf diesen Kränzen oder auf den Punkten des großen Kreises andere ähnliche goldfarbige Lineamente und sogar ganze Bögen erblickt.

Huyghens versuchte die Nebensonnen zu erklären, indem er sich auf das Dasein von Hagelcylindern stützt, welche inwendig einen schneeartigen, undurchsichtigen und gleichfalls cylindrischen Kern enthalten, dessen Endflächen abgerundet sind; wir können dem Gange des Lichtes in diesen Körperchen von bestimmter Gestalt nicht folgen, ohne uns in Ausführlichkeiten einzulassen, welche dieser Analyse eine zu große Ausdehnung geben würden.

Wärme erregende, chemische und Phosphorescenz erzeugende Eigenschaften des Lichtes.

Wir haben jetzt noch vier wichtige Eigenschaften anzuführen, welche nicht alle Theile des Spektrums in gleichem Grade besitzen: die erleuchtenden, die erwärmenden, die chemischen und die Phosphorescenz erzeugenden Eigenschaften.

Herschel fand, daß sich das Maximum des Lichtes in den gelben und grünen Strahlen befinde und daß es bis zum Rothen und Violetten abnehme, wo sich das Minimum findet. Newton hatte beinahe ähnliche Resultate gefunden.

Die Wärme erregenden Eigenschaften des Sonnenspektrums scheinen zum ersten Male von Leslie unter-

sucht worden zu sein, welcher bekannt machte, daß die Wärme erregende Wirkung vom Violetten zum Rothen zunehme. Berard setzte das Maximum in das Rothe; Herschel in den dunkeln Streifen, der auf dasselbe folgte. Seebeck bemerkte im Jahre 1828, daß sich die Lage des Maximums mit der Natur des brechenden Prisma verändere; Melloni machte bekannt, daß sich dieses Maximum um so mehr von dem Gelben gegen das Rothe hin entferne, je diathermanischer die Materie des Prisma sei und daß es ein Wärme erregendes, wie ein leuchtendes Spektrum gebe.

Was die chemischen Eigenschaften der farbigen Strahlen anbetrifft, so haben sie seit langer Zeit die Aufmerksamkeit der Physiker und der Chemiker auf sich gezogen. Man kannte seit 1556 die Eigenschaft des Sonnenlichtes, chemisch auf verschiedene Mischungen zu reagiren, denn man hatte bemerkt, daß das natürliche aus der Erde gezogene Hornsilber (Chlorsilber) an dem Lichte braun wurde; aber Scheele analysirte zuerst diese Wirkung, indem er die Wirkung der verschiedenen Theile des Spektrums auf einem Papiere untersuchte, das mit Chlorsilber bestrichen war; er fand, daß die Wirkung in den violetten Strahlen auffallender als in den andern war.

Im Jahre 1722 zeigte Petit, daß Salpeter- und Salmiakauflösungen, wenn sie der Sonne ausgesetzt werden, beim Verdunsten schönere pflanzenähnliche Erzeugungen als im Schatten gaben; Beckmann fand, daß, wenn man Phosphor in Stickstoff oder andern Gasen dem Sonnenlichte aussetzte, sich an den Wänden des Gefäßes ein Pulver absetze, das von einem Medium zum andern die Farbe verändert, während man im Schatten gar nichts bemerkte.

Wollaston und Ritter, welche den Scheele'schen Versuch wiederholten, zeigten, daß der Theil, auf welchen gewirkt worden war, sich nicht bloß durch den

Raum erstrecke, den das Violette einnimmt, sondern sogar in gleichem Grade und in gleicher Weite über das Spektrum hinaus: Wollaston zog daraus den Schluß, daß die hervorgebrachten Wirkungen nicht den Strahlen zuzuschreiben seien, welche auf die Netzhaut einen Eindruck machen, sondern andern unsichtbaren, welche sie begleiten und brechbarer als sie selber sind. Verschiedene, einer Einwirkuug fähige Substanzen leiteten, wenn sie dem Einflusse der chemischen Strahlen des Spektrums ausgesetzt wurden, auf interessante Resultate!

Gay-Lussac und Thenard entdeckten die sehr merkwürdige Wirkung des Sonnenlichtes von dem Wasserstoffe auf das Chlor; eine große Menge anderer Thatsachen, welche wir hier nicht anführen können, hat bewiesen, daß das Sonnenlicht in gewissen Fällen als eine chemische Kraft wirke.

Wenn man die Wirkung des Sonnenspektrums auf verschiedene eines Einwirkens fähige Substanzen untersucht, so findet man, daß nicht immer in den nämlichen Theilen des Spektrums die Wirkungen vor sich gehen, oder daß wenigstens die Größe des chemischen Spektrums für jede Substanz verschieden ist. Bei einer und derselben einer Einwirkung fähigen Substanz ändert es sich mit der Natur des Prisma nicht sehr; betrachtet man aber das Spektrum, das die Brechung eines Büschels von Sonnenstrahlen durch ein Prisma von Flintglaß hervorbringt, so bemerkt man, daß sich bei dem Brom-, Jod-, Chlorsilber und überhaupt bei den meisten Silbersalzen die Wirkuag vom Blauen über das Violette hinaus in einer wenigstens der Hälfte des Spektrums gleichen Ausdehnung sich erstrecke. Wendet man die chemische Wirkung der Chromsäure auf die organischen Stoffe an, so erstreckt sich das chemische Spektrum von der Mitte des Grünen bis auf einige Entfernung von dem äußersten Violetten.

In gewissen Fällen begleiten das Licht zwei Ar-

ten von Strahlen, die einen bringen eine Reaktion hervor und die andern vernichten dieselbe: die Wirkung des Lichts auf das Franzosenholzharz liefert ein Beispiel davon. Dieses Harz wird durch die Wirkung der chemischen Strahlen, welche in dem brechbarsten Theile des leuchtenden Spektrums und sogar darüber hinaus liegen, blau; ist es einmal blau geworden, so wird es in den am wenigsten brechbaren oder in dem Rothen wieder gelblich. Man hatte anfangs geglaubt, daß in diesem Falle die Wärme allein wirke; Herschel hat aber gezeigt, daß das Maximum der Wirkung durchaus nicht dem Maximum der Temperatur entspreche; verschiedene Oxyde verhalten sich wie das Franzosenholzharz. Eben so ist es mit der Wirkung einer alkalinischen Jodür auf ein geschwärztes Silbersalz; man weiß, daß, wenn eine Jodürlösung viel von diesem Salze enthält, das ganze geschwärzte Silbersalz oder wenigstens alles reduzirte Silber sich schnell sogar ohne die Mitwirkung der chemischen Strahlen in Jodür verwandelt. Ist aber die Jodürlösung schwach, so wird das Papier erst unter der Einwirkuug des Lichtes weiß, und man kann nach Herschel sehen, daß, wenn die Jodürschichte auf einem Papiere, das mit einem Silbersalze zubereitet und vorher geschwärzt ist, sehr schwach ist, das Papier in den brechbarsten Strahlen weiß und in den am wenigsten brechbaren Theile des Sonnenspektrums noch schwärzer wird.

Edmund Becquerel hat eine andere Wirkung entdeckt, durch welche eine neue Eigenschaft des Lichtes auf die Silbersalze im Allgemeinen augenscheinlich gemacht wird.

„Wenn man von der Grenze des Wirkens des gewöhnlichen chemischen Spektrums ausgeht, das auf dieses Salz bis zum Rothen wirkt, so gibt es chemische Strahlen, deren einzige Verrichtung darin besteht, eine begonnene chemische Reaktion fortzu-

setzen. Wenn man z. B. mit Jod- oder Bromsilber operirt, so hat man ein chemisches Spektrum, das sich gewöhnlich von der Mitte des Blauen bis über das Violette hinaus erstreckt." Dieses besondere Spektrum rührt von der Einwirkung von Strahlen her, welche E. Becquerel Continuatoren (Fortsetzer) nannte, weil sich ihre Wirkung erst dann zeigt, wenn das Salz vorläufig der Einwirkung des verbreiteten Lichtes unterworfen worden ist.

Aus dem Vorhergehenden ersieht man, daß die chemischen Wirkungen von Strahlen hervorgebracht werden, welche die Lichtstrahlen begleiten, und welche, wie diese letzteren, den nämlichen physischen Gesetzen der Reflexion, der Brechung, der Polarisation und der Interferenz unterworfen sind. Diese Strahlen, welche man chemische Strahlen genannt hat, sind in dem ganzen Spektrum vertheilt, und das chemische Spektrum erstreckt sich nach der oder der einer Einwirkung fähigen Substanz von dem oder dem brechbaren Theile bis zu dem oder dem andern.

E. Becquerel hat erst kürzlich ein Werk herausgegeben, in welchem er behauptet, daß die verschiedenen chemischen Spektren, welche auf mannigfaltige, einer Einwirkung fähige, Substanzen wirken, die nämlichen Striche wie das leuchtende Spektrum haben, und daß jenseits der Gränze des Violetten, wo man in dem leuchtenden Spektrum nur sehr wenige bemerken kann, das chemische Spektrum eine große Anzahl von Strichen zeige; der von diesen letzteren eingenommene Theil hat eine Größe, die ungefähr die Hälfte der Länge des Spektrums beträgt. Diese Striche sind von E. Becquerel gezeichnet worden, der auch ihre Verhältnisse bestimmte. Man muß daraus schließen, daß die nämliche Ursache, welche das Einsaugen gewisser leuchtenden Räume hervorbringt, ebenfalls das Einsaugen der entsprechenden Räume der chemischen Strahlen bewirke.

Das Licht enthält auch Strahlen, welche ein Phosphoreszenz erzeugendes Vermögen besitzen. Als E. Becquerel die Wirkung des Spektrums auf die Phosphore von Bologna und von Canton, (Schwefelbaryum und Schwefelcalcium) analysirte, welche, nachdem sie vorläufig dem Sonnenlichte ausgesetzt waren, im Dunkeln leuchtend werden, so fand er in Beziehung auf das Schwefelcalcium, daß das Phosphorenz erzeugende Spektrum, das sich von dem Indigo bis weit über das Violette hinaus erstreckt, zwei Maxima der Intensität habe, eines in dem Violetten das andere darüber hinaus; das Spektrum, welches auf das Schwefelbaryum wirkt, hat beinahe die nämliche Größe, es hat aber nur ein Maximum, das über das Violette hinausliegt. E. Becquerel fand überdies, daß, wenn man vom Indigo bis über das Rothe hinausgeht, es Strahlen gebe, welche die Phosphoreszenz vernichten und die noch nicht beobachtet worden waren: er hat auch bewiesen, daß das Phosphorenz erzeugende Spektrum die nämlichen Striche habe, wie die Spektren der andern Strahlungen.

Von der Zerstreuung.

Wenn man das Licht in Prismen von verschiedener Natur bricht, so findet man, daß die verschiedenen, obgleich in derselben Ordnung vorkommenden Farben, nicht die nämlichen proportionalen Längen einnehmen. Dieses Phänomen hängt mit den Größen der Brechungsindexe, die jeder Farbe entsprechen, zusammen. Man nannte Zerstreuung die Differenz der Brechungsindexe des Violetten und des Rothen bei einem Prisma von derselben Substanz. Daher ist eine Substanz um so zerstreuender, je größer diese Differenz ist. Man nennt Zerstreuungsvermögen den Quotienten der Division von der Zerstreuung durch den mittleren Brechungsindex, den des gelben Strahls, der um die Einheit vermindert ist.

Von dem Achromatismus.

Wenn ein Büschel Sonnenstrahlen auf eine Linse fällt, so laufen die mannigfaltig gefärbten Strahlen wegen der Verschiedenheit der Brechbarkeit gegen verschiedene Punkte der Achse zusammen und bringen auf diese Weise farbige Brennpunkte hervor. Dieser Verbreitung von Farben in den von den Linsen erzeugten Bildern hat man den Namen Abweichung wegen der Brechbarkeit gegeben, die man mit Hülfe des Achromatismus verbessert; auf diese Weise sind Linsen achromatisch, wenn sie in ihrem Brennpunkte farblose Bilder geben.

Newton hatte die Zerstreuung nur in dem Falle des Uebergangs des Lichts von der Luft in das Glas und in das Wasser gemessen; und da in diesen beiden Fällen das Verhältniß der Brechbarkeit der äußersten Strahlen merklich das nämliche war, so hat er daraus geschlossen, daß dieses Verhältniß gleichfalls für alle Substanzen bestünde, und daß von nun an das Problem des Achromatismus unmöglich gelöst werden könne. Euler antwortete, daß dem nicht so sein könne, da ja die Krystallhaut achromatisch sei. Clairaut und d'Alembert beschäftigten sich gleichfalls mit der Frage. Im Jahre 1733 verfertigte Hall achromatische Fernröhre, ohne sein Verfahren bekannt zu machen, während Johann Dollond im Jahre 1757 die nämliche Entdeckung machte, die er öffentlich bekannt machte. Er verfertigte eine beinahe achromatische Linse aus einer biconvexen Linse von Crownglas und einer biconcaven Linse aus Flintglas; bei dieser Einrichtung war der Achromatismus unvollkommen, weil die Anwendung von zwei Gläsern, welche nicht das nämliche Brechungsvermögen haben, bloß zwei von den Radien des Spektrums parallel macht. Wollte man ein vollkommen weißes Bild erhalten, so müßte man eine Linse haben, die aus sieben Gläsern mit verschiedenen Brechungs=

inderen haben. Da aber die Abweichungen in der Brechbarkeit keine große Differenz zeigen, so folgt daraus, daß, wenn man die Strahlen, die sich an der Gränze des Spektrums befinden, nach ihrem Herausfahren parallel macht, die andern es auch sind.

Amici wollte Linsen verfertigen, welche aus mehreren anderen übereinanderliegenden bestanden; er hat aber nur nicht sehr deutliche Bilder erhalten.

Rochon hat einen Apparat construirt, den er Diasporameter nennt, welcher dazu dient, irgend ein Prisma dadurch achromatisch zu machen, daß er den Winkel bestimmt, den man einem andern Prisma geben muß, das einen anderen Brechungsinder hat und den man mit dem ersten coincidiren läßt.

7. Vom Sehen.

Newton behauptete zuerst, daß sich die Lichtstrahlen bis auf den Grund des Auges begeben, indem sie durch alle Theile gehen, woraus dieses besteht, und dem Sehnerven vermittelst der Netzhaut eine Erschütterung mittheilen, woraus die Empfindung des Lichtes entsteht.

Descartes nahm, wie in der Undulationstheorie, an, daß der leuchtende Körper vermittelst des feinen Grundstoffs, welcher alle Körper durchdringt, die schwingenden Bewegungen auf den Sehnerven fortpflanze. Die Erklärung des Phänomens des Sehens beruht also auf der vollkommenen Kenntniß von dem Baue des Auges; dieser Bau ist aber dergestalt complicirt, daß es uns unmöglich ist, eine Analyse davon in dieser historischen Notiz zu geben, noch, wenn auch ganz gedrängt, die physische Erscheinung des Sehens zu erörtern; wir führen bloß an, daß es eine Folge aus den Gesetzen der Brechung, des Vermögens der Linsen und des Baues des Auges zu sein scheint. Wenn Strahlen, welche von den Körpern ausgehen, auf die durchsichtige Hornhaut fallen, so gehen sie

convergirend durch dieselbe; die Strahlen, welche zu schief sind, werden von der Iris, einer undurchsichtigen Haut, die von mannigfaltiger Farbe ist, hinter der durchsichtigen Hornhaut liegt und eine kleine kreisförmige Oeffnung, Pupille genannt, hat, die sich zusammenziehen und erweitern kann, zurückgeworfen. Die Strahlen, welche durch die Pupille gegangen sind, laufen aufs Neue zusammen, indem sie durch die Krystallinse, einem linsenförmigen, festen, durchsichtigen und achromatischen Körper, gehen, welcher hinter der Pupille liegt und bilden ein verkehrtes Bild auf der Netzhaut, einer dünnen Haut, welche den Hintergrund des Auges überzieht und aus der Entfaltung des Sehnervens auf der Aderhaut, einer Haut, welche inwendig die undurchsichtige Hornhaut überzieht, gebildet ist. Diese verschiedenen Theile, oder die Räume, welche sie trennen, sind mit Flüssigkeiten angefüllt, welche eine wichtige Rolle in der Erscheinung des Sehens wegen ihres Brechungsvermögens spielen; zwischen der durchsichtigen Hornhaut und der Krystallinse befindet sich die wässerige Feuchtigkeit; der Raum, welcher zwischen der Krystallinse und dem Hintergrunde des Auges liegt, ist mit der glasartigen Feuchtigkeit erfüllt.

Das Licht erleidet bei seinem Durchgange durch das Auge eine solche Kraft, daß es die äußeren Gegenstände auf der Netzhaut abbildet, ohne daß sie von verschiedenfarbigen Ringen umgeben sind, noch daß die Deutlichkeit der Bilder von der Entfernung der Gegenstände abhänge. Wir können aber noch nicht alle diese wunderbaren Erscheinungen erklären, denn dazu müßten wir die Brechungsindexe, die Zerstreuungskräfte und die Krümmungen aller Stoffe, welche das Licht von seinem Eingang in das Auge an bis zu der Netzhaut, welche die Empfindung desselben vermittelst des Sehnervens dem Gehirne mittheilt, vollkommen kennen.

Eine Menge von Fragen über das Sehen, wovon einige nur durch Hypothesen gelöst werden konnten, haben die Physiker sehr beschäftigt; wir erwähnen hier nur der vorzüglichsten.

Wie verträgt sich das Auge mit den Entfernungen?

Wie beurtheilt man die Farbe, die Gestalt, die Lage und die Größe der Gegenstände?

Warum sieht man mit den beiden Augen nur einen Gegenstand?

Endlich hat es der Mechanismus des Auges möglich gemacht, gewisse Zufälle des Gesichtes zu erklären, z. B. den Presbytismus oder die Weitsichtigkeit und den Myopismus oder die Kurzsichtigkeit; sowie auch jene andere Erscheinung, bei welcher man nur die Hälfte der Gegenstände sieht.

8. Von den optischen Instrumenten.

Die Eigenschaften der Linsen sind zur Verfertigung einer Menge optischer Instrumente, welche der Astronomie, den naturhistorischen Wissenschaften, der Physik und den Künsten wichtige Dienste leisten, wie Mikroskope, Fernröhre u. s. w. benützt werden.

Von den Mikroskopen.

Die Mikroskope sind einfach oder zusammengesetzt. Die einfachen Mikroskope sind Loupen oder convexe, gehörig gefaßte Linsen, die zur Vergrößerung der Gegenstände dienen; dieses Instrument ist seit langer Zeit bekannt.

Das zusammengesetzte Mikroskop besteht wenigstens aus zwei convexen Linsen, wovon die eine, welche als Objektivglas dient, eine sehr kurze Brennweite, und die andere, welche als Okularglas dient, eine längere Brennweite besitzt. Die Gegenstände, welche dem Versuche unterworfen werden, werden

etwas über der Hauptbrennweite des Objektivglases angebracht. Die wirklichen und vergrößerten Bilder werden hinter diesem letzteren durch das Okularglas, das die Dienste einer Loupe versieht, betrachtet. Dieses Mikroskop ist dioptrisch, katoptrisch oder katadioptrisch, je nachdem die Vergrößerungen durch Brechung, Reflexion oder durch Reflexion und Brechung mit einander hervorgebracht werden; das erstere ist das gewöhnliche.

Man kann die Zeit der Erfindung des zusammengesetzten Mikroskops nicht genau angeben; man weiß bloß, daß Galilei im Jahre 1612 eines an Sigismund, König von Polen, schickte, und daß Drebbel im Jahre 1619 mit einem ähnlichen Apparate in London experimentirte. Seit dieser Zeit hat man nicht aufgehört, es dadurch zu vervollkommnen, daß man entweder den Linsen eine größere Regelmäßigkeit gab, oder daß man die Gegenstände erhellte und besser stellte, oder statt der senkrechten Stellung, welche für den Beobachter unbequem war, dem Instrumente eine horizontale Lage gab. Amici, welcher der Erfinder der letzten Vervollkommnung ist, hat einen Spiegel mit einer Neigung von 45 Graden auf der Achse angebracht, welcher die Gegenstände in einem horizontalen Mikroskope reflektirt; aber die Anwendung der achromatischen Linsen in dem Mikroskope eröffnete eine neue Aere für dieses Instrument, weil man die Gegenstände, welche man untersuchen will, deutlich und ohne Farbe sehen kann. Charles, Dr. Brewster, Frauenhoffer, Selligues, Vincent und Ch. Chevalier haben ihrerseits zur Verfertigung achromatischer Linsen zu Objektivgläsern beigetragen. Die heutzutage allgemein angenommenen Linsen sind die von Amici; jede derselben besteht aus drei achromatischen Linsen von 13^{m},535 Brennweite; man bedient sich zu gleicher Zeit eines achromatischen Okulares.

Die absoluten Dimensionen der Körper, werden

mit Hülfe des **Mikrometers** gemessen, ein Instrument, das aus einer Glasplatte besteht, auf welcher ein Millimeter in 100, 200 und 300 Theile eingetheilt ist. Legt man den Körper auf die Platte, so daß man zu gleicher Zeit den Gegenstand und die Eintheilung sehen kann, so ist es leicht, die gesuchten Dimensionen zu bestimmen.

Das Sonnenmikroskop, mit welchem man die stärkste Vergrößerung erhält, ist im Jahre 1745 von Doctor Lieberkühn erfunden worden. Der durchsichtige Gegenstand, den man untersuchen will, wird sehr nahe über den Brennpunkt einer Objektivlinse hinaus und in den Brennpunkt einer andern Linse gebracht, auf welche ein Planspiegel parallel mit ihrer Axe die Sonnenstrahlen wirft. Der sehr stark erhellte Gegenstand wirft sein Bild auf eine weiße Tafel in einem dunkeln Zimmer. Dieser Apparat ist in einigen Forschungen der Physik und der Anatomie von Nutzen.

Von den Fernröhren.

Die Erfindung der Fernröhren schreibt sich, wie man sagt, von dem Ende des 13. Jahrhunderts her. Die Einen schreiben sie dem Roger Baco, die Andern einem Florentiner Namens Salvino degli Armati, der im Jahr 1317 starb, oder dem Allessandro di Spina, der im Jahre 1313 starb, sodann dem Johann Baptist Porta zu: so viel man aus der folgenden Stelle in seiner **natürlichen Magie**, welche im Jahr 1549 gedruckt wurde, ersehen kann:

„Wofern ihr nur die Art und Weise wißt, die „beiden Gläser, entweder das convexe oder das con„cave zu verbinden, so werdet ihr gleichfalls die „nahen und entfernten Gegenstände größer und so„gar deutlicher sehen als sie von Natur erscheinen."

Doch sah Jakob Metius, der Sohn eines Profes-

sionisten von Alkmar, indem er zwei Gläser, ein concaves und ein converes, verband, die entfernten Gegenstände größer und deutlicher. Diese Entdeckung verbreitete sich schnell und Galilei verfertigte, wie wir bereits gesagt haben, ein sehr langes Fernrohr aus zwei Gläsern, womit er die Trabanten des Jupiters, die Sonnenflecken erkennen konnte (Nuncius sidereus, 1610).

Descartes kam auf den Gedanken, ein converes Glas zum Okularglase zu nehmen, er machte aber keinen Gebrauch davon; Kepler bediente sich desselben zuerst. Dieses Fernrohr wurde von ihm in seiner Dioptrik im Jahre 1611 beschrieben; es scheint aber, daß es erst 20 oder 30 Jahre nachher von dem P. Scheiner angewandt wurde (Rosa ursina, 1650).

Im Jahre 1659 brachte Huyghens einen Mikrometer im Brennpunkt des Objektives an, womit er den Diameter der Planeten maß.

Die Fernröhre mit zwei converen Gläsern zeigten die Gegenstände verkehrt; um sie in ihrer natürlichen Lage zu sehen, erfand man das Erdfernrohr, das aus vier converen Gläsern besteht.

Um diese Zeit kannte man noch nicht die achromatischen Gläser, um die Abweichung der Brechbarkeit, welche Farben um die Körper hervorbrachten, zu verbessern. Newton ersetzte diese durch das Teleskop. Bei diesem Instrumente werden die Gegenstände auf einen Hohlspiegel reflektirt und die Strahlen werden auf einem kleinen Planspiegel, der in einem Winkel von 45 Graden auf der Are steht, aufgefangen, so daß die Strahlen, welche senkrecht mit der Are herausfahren, vermittelst einer biconveren Linse aufgefangen wurden. Da dieses Teleskop für die Beobachtung Schwierigkeiten zeigte, so brachten Gregory und Cassegrain eine bedeutende Verbesserung an demselben an. Im Jahre 1663 ersetzte der Erste

den kleinen Planspiegel durch einen andern kleinen Hohlspiegel, brachte sodann das Okular in einer Oeffnung an, die sich in dem Mittelpunkte des großen Hohlspiegels befand: mit diesem Teleskope konnte man, wie mit den Fernröhren beobachten. Cassegrain ersetzte den kleinen Hohlspiegel durch einen kleinen convexen Spiegel, der so angebracht war, daß er die Strahlen auffing, bevor sie das wirkliche Bild des Objektes gebildet hatten. Auf diese Weise wurden die Strahlen nicht bloß reflektirt, sondern ihre Convergenz wurde vermindert und das wirkliche und verkehrte Bild zeigte sich an dem nämlichen Orte, wie das zweite Bild in dem Teleskope des Gregory; da wurde es von dem Okularglase aufgefangen.

Die Entdeckung achromatischer Okular- und Objektivgläser machte, daß man bei den astronomischen Beobachtungen auf die Teleskope verzichtete und die Fernröhre vorzog. Campani und Ramsden machten achromatische Okulare, indem sie das biconvexe Okular durch zwei von einander getrennte planconvexe Linsen ersetzten; bei dem Okular des Campani laufen die beiden Krümmungen nach verkehrter Richtung, bei der des Ramsden haben sie die nämliche Richtung.

Alle Bemühungen der Optiker gehen dahin, vortreffliche Objektive zu erhalten; denn ist einmal das erste Bild ganz achromatisch, deutlich und lebhaft erhellt, so findet man keine Schwierigkeit, um Okulare zu verfertigen, welche dieses Bild vergrößern und wieder aufrichten. Um eine tausendfache Vergrößerung zu erhalten, müßte man ein achromatisches Objektiv von mehr als einem Fuße Oeffnung haben, was in der Verfertigung große Schwierigkeiten zeigt. Indessen verdankt bereits die Astronomie Cauchois und Lerebours Objektive von einer großen Dimension.

Das Megaskop, das gegen das Jahr 1780 von Charles erfunden wurde, ist dazu bestimmt, reduzirte oder vergrößerte Bilder eines Gemäldes oder

eines Basrelief darzustellen, es wird wie das Sonnenmikroskop erhellt und der Grund seiner Verfertigung ist der nämliche, wie bei dem, das der P. Kircher erfand. Die Zauberlaterne ist nichts anders als ein tragbares Megaskop, in welchem die durchsichtigen Objekte durch ein künstliches Licht erleuchtet werden. Die Phantasmagorie ist abermals das Megaskop, in welchem man die Entfernungen des Gegenstandes und des Gemäldes in der convergirenden Linse abwechseln läßt, so daß man die Größe des Bildes verändert, welches anfangs sehr klein, nach und nach größer wird.

Die helle Kammer oder Camera lucida ist von Wollaston erfunden worden, um das Bild eines Gegenstandes oder einer Landschaft zu zeichnen, sie besteht aus einem vierseitigen gläsernen Prisma, wovon einer der körperlichen Winkel ein rechter die beiden anliegenden kleiner und der gegenüberstehende größer ist. Amici hat mannigfaltige Verbesserungen daran angebracht, damit das Auge, das zu gleicher Zeit in das Prisma und auf das Papier sehen muß, in einer festen Stellung bleibe.

Im Jahre 1650 bemerkte Johann Baptist Porta zuerst die Wirkungen der dunklen Kammer, welche viele Jahre hindurch nur dazu diente, Landschaften zu zeichnen und einige optische Versuche anzustellen; in unsern Tagen hat sie in Folge der Entdeckung Niepce und Daguerre eine wichtige Anwendung erhalten. In ihrer einfachsten Einrichtung besteht die dunkle Kammer aus einem convergirenden Glase, das in der Oeffnung des Ladens eines ganz verschlossenen Zimmers befestigt ist. Wenn die Strahlen, welche von den äußern Gegenständen ausströmen, durch die Linse kommen, so stellen sie diese Gegenstände auf einem gehörig angebrachten Blatte Papier verkehrt dar; um sie wieder aufzurichten und sie dem Auge nahe zu bringen, so bringt man außen und vor der

Linse einen verzinnten Spiegel auf eine geschickte Weise an. Die Erscheinungen der dunklen Kammer dienen dazu, einen Begriff von der Art und Weise zu geben, wie sich das Bild der äußeren Gegenstände auf der Netzhaut darstellt.

9. Von der Beugung und der Interferenz des Lichtes.

Wenn man in einer dunklen Kammer einen Büschel Sonnenlicht, der horizontal reflektirt ist, auffängt, nachdem man ihn durch eine Linse mit kurzer Brennweite, die in der Oeffnung des Ladens angebracht ist, hat gehen lassen, wenn man in einiger Entfernung von dieser Brennweite einen Schirm aufstellt, um einen Theil des Lichtkegels aufzufangen, und man den andern auf einem Spiegel auffängt, welcher hinten etwas matt gemacht ist, so sieht man, daß die Spur des geometrischen Schattens nicht wirklich die Trennung des Schattens und des Lichtes ist. Von Seite des Schirmes wird der Spiegel mit einem sehr merklichen Schimmer erhellt, der bis auf eine ziemlich große Entfernung beständig abnimmt, während man auf der andern Seite abwechslungsweise dunkle und helle Fransen bemerkt. Diese Erscheinung wird auch mit allen Farben des Spektrums hervorgebracht, jedoch aber mit dieser Eigenheit, daß die dunkeln und hellen Fransen, wenn sie von den rotheu Strahlen in die violetten übergehen, stufenweise an Breite abnehmen und demnach immer gedrängter werden.

Grimaldi beobachtete zuerst die Fransen, welche von weißem Lichte hervorgebracht wurden. Sie wurden von verschiedenen Physikern studirt; aber Fresnel hat zuerst mit einer sehr großen Genauigkeit ihre gegenseitige Entfernung gemessen. Diese Erscheinung, welche unter dem Namen der Beugung bekannt ist, wird ferner mit dem Sonnenlichte, das nicht in dem

Brennpunkte einer Linse concentrirt ist und mit dem Lichte der Sterne hervorgebracht.

Man hat nach der Reihe die Fransen untersucht, welche von schmalen und geradlinigten Körpern von engen Oeffnungen, von den Rändern reflektirender Oberflächen hervorgebracht wurden. Newton versuchte sie durch die Annahme zu erklären, daß die Lichtmoleküle, wenn sie nahe an den Rändern eines Körpers vorbeistreifen, durch die Repulsionskraft abgelenkt würden, und daß diejenigen, die sich denselben am meisten näherten, stärker abgelenkt würden, so daß sich Reihen von Brennlinien bilden, welche, wenn sie von einer Ebene geschnitten werden, die beobachteten Fransen erzeugten. Diese Angabe erklärte zwar wohl die äußeren Fransen, aber nicht die inneren; dies war einer von den Einwürfen, welche man dem Emanationssysteme machte.

Young erklärte die Erscheinung nach dem Undulationssysteme durch die Annahme, daß die Seitentheile des Schirmes ebenso viele leuchtende Punkte seien, welche das Licht, das auf sie fällt, nach allen Richtungen reflektirten, daß es unter allen diesen Strahlen einige gebe, welche interferirten und die inneren und äußeren Fransen hervorbrächten; er stellte gegen das Jahr 1801 ein Gesetz auf, das durch seine Einfachheit und den Umfang seiner Anwendungen merkwürdig ist. Die Betrachtungen, welche ihn bei diesen Forschungen leiteten, sind folgende:

Die Schwingungen zweier Schalle, welche zu gleicher Zeit in das Ohr gelangen bringen den Eindruck des Schalles oder der Stille hervor, je nachdem sie in der nämlichen Richtung gehen oder in ihren Wirkungen einander entgegengesetzt sind. Th. Young kam auf den Gedanken, daß es sich wohl ebenso verhalten könnte, wenn das Licht wie der Schall das Resultat einer schwingenden Bewegung wäre; er bestätigte durch den Versuch folgenden Grundsatz:

„Wenn zwei Strahlen, welche von dem nämlichen Körper in dem nämlichen Augenblicke ausgehen, auf verschiedenen Wegen zu demselben Punkte gelangen, so muß der eine die Wirkungen, welche der andere hervorbringt, ganz oder theilweise verstärken oder vernichten, je nachdem der Weg, den sie durchlaufen haben, mehr oder minder lang ist." Er leitete daraus den Schluß ab, daß sie in gewissen Umständen dadurch, daß sie sich übereinander legen, Wirkungen hervorbringen, die sich verstärken oder sich dergestalt vernichten, daß sie Dunkelheit erzeugen und das hervorbringen, was man eine Interferenz nennt: man sagt zwei Strahlen interferiren, wenn sie auf einander wirken. Nachdem Fresnel mit seinem Mikrometer das genaue Maß der Fransen genommen hatte, so fand er, daß eine Differenz zwischen den beobachteten Längen und den Längen stattfinde, welche aus Youngs Erklärung abgeleitet wurde, und gab eine vollständige Theorie der Beugungserscheinungen nach dem Undulationssysteme, indem er sich auf Thatsachen stützte, welche er entdeckt hatte. Er ging zu dem Ende von dem Grundprincipe Huyghens aus, daß nämlich die Schwingungen einer Lichtwelle in jedem ihrer Punkte als die Quellen der Elementarbewegungen angesehen werden könnten, welche in dem nämlichen Augenblicke alle Theile dieser, in irgend einer ihrer früheren Lagen betrachteten Welle, wenn sie einzeln wirken, dahin absenden würden.

Die Interferenzen machen es möglich, die Erscheinungen zu erklären, welche bei dem Kreuzen aller Strahlen stattfinden, welche irgend eine Gegend des Raumes erhellen, Strahlen, welche nicht bloß von dem unmittelbaren Licht, sondern auch von dem mehr oder weniger schief reflektirten oder gebrochenen Lichte herkommen. Wir wollen über die Principien, welche der Theorie der Interferenzen zur Grundlage dienten, etwas ausführlicher sprechen.

Grimaldi hatte den Satz aufgestellt: „Ein von Natur leuchtender Körper kann dunkler werden, wenn man ein neues Licht zu dem hinzuthut, das er bereits hat.“ Bei dem Versuche, den er anstellte, um diese Behauptung augenscheinlich zu machen, bemerkte er, daß, wenn Licht zu Licht gethan, Dunkelheit hervorbringt, wenn man einen Theil des erhellenden Lichtes hinwegnimmt, die dunkle Oberfläche hell werde.

Als Arago die Modifikationen untersuchte, welche die durchsichtigen Schirme die Fransen erleiden lassen, so wurde er auf die Annahme gebracht, daß die Fransen durch die Mitwirkung der Strahlen hervorgebracht werden, welche von zwei gegenüberstehenden Rändern herkommen, daß die gegenseitige Wirkung der Strahlen nicht bloß von einer besonderen Modifikation herrühre, die sie an den Gränzen des Körpers, den sie auf ihrem Wege streifen, erleiden, sondern auch noch von den verschiedenen Medien, durch die sie von ihrer Quelle an bis zu dem Punkte, wo sie sich begegnen, gegangen sind.

Fresnel hat durch den Versuch die Wahrheit begründet, daß zwei Lichtstrahlen, welche von einer und derselben Quelle herrühren und sich unter einer geringen Schiefe begegnen, eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben, so daß sie sich entweder ganz vernichten, oder sich mit einander vereinen und ein stärkeres Licht hervorbringen können. Ein Versuch Arago's, welcher beweist, daß sich das Licht in dem Glase langsamer als in der Luft bewege, unterstützt die Undulationstheorie; denn diese Thatsache steht mit der natürlichen Theorie der Brechung in dem Emanationssysteme in Widerspruch.

Man sieht also, daß eine Thatsache, auf welche das Princip der Interferenzen, welche anfänglich von Grimaldi vermuthet, sodann von Th. Young angenommen und zum Grundsatze erhoben wurde, der Undulationstheorie, an welche sich der Name Fres-

nel, wegen seiner schönen Entdeckungen für immer knüpft, zu einer festen Grundlage gedient hat. Die Interferenzen allein reichten nicht hin, um alle Erscheinungen der Beugung zu erklären; sie haben bewiesen, daß die Hauptsache mit dem Emanationssysteme unvereinbar und im Gegentheile eine unmittelbare Folge des Undulationssystems sei. Wirklich zerstören sich auch nach diesem Systeme, wenn zwei Radien coincidiren, die Geschwindigkeiten in jedem Augenblicke durch das Aufeinanderlegen dieser Strahlen, wovon alle Punkte in Ruhe bleiben müssen, woraus Dunkelheit entspringt. Der nämliche Fall tritt ein, wenn der eine von den Strahlen in irgend einer ungerade Zahl von Halbundulationen voraus oder zurück ist, oder wenn sich die Strahlen unter einer kleinen Schiefe begegnen; auf der andern Seite hat man vorher gesehen, und die Sache ist von Wichtigkeit, daß sich das Licht in dem Glase langsamer, als in der Luft bewege; diese Erscheinung paßt in die Undulationstheorie: denn man beweist, daß in den durchsichtigen und festen Substanzen die Undulationen kürzer, als in der Luft sind, und daß die Undulationslängen dem Verhältnisse des Incidenz- und Brechungssinus proportional sind, d. h. daß der Brechungsindex das Verhältniß der Undulationslänge angebe.

Man hat nach der Reihe der Undulationstheorie die äußeren Fransen, welche der Stand eines Schirmes hervorbringt, die Fransen, welche kleine Oeffnungen hervorbringen, ferner diejenigen, welche durch die Reflexion auf sehr schmalen polirten und auf unregelmäßig gestreiften Flächen hervorgebracht werden und endlich die Fransen und Spektren, welche Netze hervorbringen, angepaßt. Frauenhoffer hat diese letztere Erscheinung an folgendem Umstande beobachtet: wenn man auf eine gläserne Platte, auf welcher man mit dem Diamant sehr enge Parallellinien gezogen hat, in einem dunkeln Zimmer durch eine sehr

schmale Spalte einen Sonnenlichtstrahl fallen läßt und man das Licht auf einem Schirme auffängt, so bemerkt man mit einem Fernrohre folgende Erscheinungen: 1) das Bild der Spalte erscheint in der Mitte von einem weißen Lichte mit sehr scharfen Rändern erhellt und auf jeder Seite ist das Aussehen symmetrisch; 2) auf jeder Seite von dem Bilde der Spalte ist vollkommene Dunkelheit, sodann nachher ein glänzendes Spektrum mit dem Violetten inwendig und dem Rothen außen; sodann kommt ein dunkler Raum; 3) darüber hinaus kommen nach einander Spektren von verschiedenen Intensitäten; 4) diejenige von diesen Spektren, welche hinlänglich ausgebreitet und hinlänglich glänzend sind, zeigen die nämlichen schwarzen Striche, wie das unmittelbare Sonnenspektrum. Frauenhoffer beobachtete die Erfahrungsgesetze dieser Erscheinung und Babinet hat ihre Erklärung auf die Undulationstheorie gegründet. Th. Young hat aus der Erscheinung der Netze Vortheil gezogen, um ein Instrument zu verfertigen, das man Eriometer nennt, mit welchem man die Dicke sehr feiner Fasern von verschiedenen Substanzen, die Durchmesser der Blutkügelchen, der Milchkügelchen u. s. w. unter einander vergleicht.

Von den farbigen Ringen, welche die dünnen und die dicken Lamellen zeigen.

Die zu dünnen Platten reduzirten durchsichtigen Körper zeigen sich uns unter den lebhaftesten Farben, wie die Kugeln des an der Lampe geblasenen Glases, die Seifenblasen, die Glimmerlamellen Beispiele davon sind; die Luft, die Dämpfe und die Gase bringen ähnliche Erscheinungen hervor, welche zum ersten Mal von Newton untersucht worden sind. Der Versuch, welcher ihm zum Wegweiser diente, wurde an einer Luftschichte angestellt, die zwischen einer ebenen Glasplatte und einer convexen Linse lag;

die Luftschichte war von einer veränderlichen Dicke, welche von 0 bis zu der größten Entfernung der beiden Gläser ging. Als er in diesen Punkt einen Büschel Lichtstrahlen durch Reflexion gelangen ließ, so sah er rings herum eine Reihe von Lichtringen, welche die Farben des Spektrums hatten; bei dem Durchgange waren die Ringe aus den complementären Farben gebildet; jedesmal wenn der Büschel von gleichartigem Lichte war, so waren die Ringe abwechselnd dunkel und von der Farbe des Lichts. Bei den verschiedenen Farben, waren die Ringe von derselben Ordnung um so breiter, je weniger brechbar die Farben waren, welche sie bildeten. Newton bestimmte die Gesetze der den Ringen entsprechenden Breiten und fand, daß sich die Breiten, welche den glänzenden Ringen der Strahlen der farbigen Substanz, welche durch Reflexion gesehen werden, entsprechen, unter sich wie die Reihe 1, 3, 5, 7 u. s. w. verhalten, während die Breiten, welche den dunkeln Ringen entsprechen, sich wie die Zahlen 2, 4, 6 u. s. w. verhalten; er entdeckte auch das Gesetz der Abwechslungen der Breite, indem er statt der Luft andere Gase nahm und fand, daß die Breite, welche einem und demselben Ringe in verschiedenen Mitteln entspreche, in umgekehrtem Verhältnisse zu den Brechungsinderen der Mittel stehe. Er bestimmte auch die Verschiedenheiten in der Breite der Ringe nach der Neigung des einfallenden Strahls.

Um diese verschiedenen Phänomene zu erkären, erfand Newton die Theorie der Anwandlungen der leichten Reflexion und des leichten Durchgangs. Er verstand unter Anwandlungen leichter Reflexion die Anlagen eines und desselben Strahls von verschiedenen Dicken einer und derselben Luftlamelle oder irgend einer anderen Substanz reflektirt zu werden, und unter Anwandlung von leichter Fortpflanzung die Anlage eines Strahls, durch die da-

zwischenliegenden Dicken durchgelassen zu werden. Der erste Fall fand jedesmal Statt, wenn der Strahl auf eine Lamelle von irgend einer Substanz fiel, deren Dicke eines von den Gliedern der Reihe 1, 3, 5, 7 u. s. w. war, indem er zur Einheit die kleinste Dicke annahm, welche fähig ist, einen Strahl zu reflektiren; der zweite Fall fand Statt, wenn die Dicke der Lamelle, welche ihn auffing, eines von den Gliedern der Reihe 2, 4, 6, 8 u. s. w. war. Vermittelst dieses Grundsatzes fand Newton die Dicke der dünnen Lamellen, welche das Phänomen der farbigen Ringe erzeugen. Newton hat auch die Farben untersucht, welche von den dicken Platten hervorgebracht werden. Um sie zu erzeugen, brachte er durch eine Oeffnung von 4 bis 5 Millimeter im Durchmesser einen Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer, und ließ ihn auf einen Hohlspiegel von verzinntem Glase so fallen, daß er ihn genau in der Richtung des Einfallens zurückwarf; er unterschied alsdann um die Oeffnung herum auf einer zu diesem Ende angebrachten Pappe eine Reihe sehr glänzender Ringe. War das einfallende Licht einfach, so waren die Ringe abwechselnd dunkel und von der Farbe des Strahls; er zählte 12 bis 15 dieser Abwechslungen; bei dem weißen Lichte fand er alle Schattirungen der Ringe wieder, welche von den dünnen Lamellen hervorgebracht werden und erkannte, daß diese Ringe die größte Intensität besitzen, wenn das von der Oeffnung reflektirte Bild auf die Oeffnung selbst fällt und ihr an Größe gleich ist. Newton, welcher diese Versuche mit Spiegeln von verschiedenen Radien oder von verschiedenen Dicken angestellt und mit einer großen Genauigkeit die Diameter der verschiedenen Ringe gemessen hat, stellte folgende Gesetze auf:

1) Bei irgend einem gleichartigen Lichte richten sich die Quadrate der Diameter in Beziehung auf die leuchtenden Ringe nach der Reihe der geraden

Zahlen 0 2, 4, 6 u. s. w. und in Beziehung auf die dunklen Ringe nach der Reihe der Zahlen 1, 3, 5, 7 u. s. w. 2) Mit einem und demselben Spiegel, der in derselben Entfernung aufgestellt ist, nehmen die Durchmesser der Ringe von derselben Ordnung in den verschiedenen Farben von dem rothen bis zum violetten ab und ihre Verhältnisse sind die nämlichen, wie bei den Ringen, welche in den dünnen Lamellen gebildet werden. 3) Die Durchmesser der Ringe von gleicher Farbe und gleicher Ordnung, welche mit Spiegeln von gleichem Radius und von verschiedener Dicke gebildet werden, sind den Quadratwurzeln der Spiegeldicken gegenseitig proportional.

Wir wollen mit Stillschweigen verschiedene Phänomene derselben Art, welche von dem Herzog von Chaulnes und von einigen andern Physikern beobachtet wurden, übergehen. Indem wir uns an die allgemeine Thatsache halten, wovon Newton in der Theorie der Anwandlungen eine Erklärung gegeben hat.

In dem Undulationssysteme gab Fresnel eine unmittelbare Erklärung von den farbigen Ringen, indem er sich auf die Principien stützte, die sich auf die Richtung der Bewegung in den reflektirten Wellen beziehen; eine Erklärung, welche wir um so lieber wörtlich geben, als sie einige von den metaphysischen Ansichten enthalten, welche der Undulationstheorie zur Grundlage dienen.

„Wenn sich irgend eine Erschütterung in einem elastischen Medium und von gleichförmiger Dichtheit fortpflanzt, so kehrt sie nie zurück und indem sie sich neuen Schnitten mittheilt, läßt sie die vorhergehenden in vollkommener Ruhe. So theilt eine elfenbeinerne Kugel, welche eine andere von gleicher Masse anstößt, dieser ihre ganze Bewegung mit und bleibt nach dem Stoße in Ruhe. Hat die zweite Kugel mehr Masse als die erstere, so führt sie die neue Geschwindigkeit, welche diese erhält, nach einer

ihrer anfänglichen Bewegung entgegengesetzten Richtung; hat die zweite Kugel weniger Masse als die erste, so setzt sie ihre Bewegung in der nämlichen Richtung fort; auf diese Weise haben die neuen Geschwindigkeiten der ersten Kugel nach dem Stoße in den beiden Fällen entgegengesetzte Zeichen. Dies kann dazu dienen, begreiflich zu machen, was vorgehe, wenn eine Welle an die Berührungsfläche von zwei elastischen Medien von verschiedener Dichtheit gelangt: die unendlich dünne Schnitte des ersten Mittels, welche an die zweite anstößt und welche wir mit der ersten Kugel vergleichen können, bleibt wegen der Verschiedenheit ihrer Masse, nachdem sie die anstoßenden Schnitte des zweiten Mittels in Bewegung gesetzt hat, nicht in Ruhe, und es findet Reflexion Statt; aber die neue Geschwindigkeit, welche die Schnitte des ersten Mediums nach dem Stoße erhalten hat und welche sich nach der Reihe den vorhergehenden Schnitten des nämlichen Mediums mittheilt, muß ihr Zeichen verändern, je nachdem die Schnitte des zweiten Mittels mehr oder weniger Masse als die des ersten hat, d. h. je nachdem dieses mehr oder weniger dicht als das erste ist. Dieses wichtige Princip, welches Young durch die so eben angegebenen Betrachtungen entdeckte, erhellt gleichfalls aus den Formeln, welche Poisson aus einer wissenschaftlichen und strengen Analyse ableitete. Auf die Reflexion des Lichtes angewandt, lehrt es uns, daß, je nachdem eine Lichtwelle innerhalb oder außerhalb des dichteren Mittels reflektirt wird, die Geschwindigkeit der Schwingung positiv oder negativ ist, auf diese Weise werden also alle entsprechende schwingende Bewegungen in den beiden Fällen entgegengesetzte Zeichen erhalten.

„Dies vorausgesetzt, wollen wir zu den Erscheinungen der farbigen Ringe zurückkehren, und zu Vereinfachung der Schlüsse voraussetzen, daß man

das reflektirte Licht unter dem senkrechten Einfallen oder wenigstens in einer Richtung beobachte, die sich sehr wenig von demselben entfernt; wir wollen eines von den Wellensystemen betrachten, welche von dem leuchtenden Gegenstande auf die erste Oberfläche der Luftlamelle gesandt werden, d. h. auf die zweite Oberfläche des obern Glases; was wir von diesem Wellensysteme sagen werden, läßt sich auf alle andere anwenden. In dem Augenblicke, wo es an die Trennungsfläche des Glases und der Luft ankommt, erleidet es eine theilweise Reflexion, welche die Intensität des in die Luftlamelle übergegangenen Lichtes in etwas schwächt und in dem Inneren des ersten Glases ein anderes Wellensystem hervorbringt, dessen Intensität, wie man weiß, weit geringer als die des durchgegangenen Lichtes ist, so daß dieses, welches durch jene erste Reflexion nur sehr wenig geschwächt wird, bei seiner Ankunft an der zweiten Fläche der Luftlamelle ein zweites System reflektirter Wellen und von einer Intensität hervorbringt, die beinahe der Intensität der Wellen gleich ist, welche von der ersten Reflexion herrühren; darum bringt auch ihre Interferenz so lebhafte Farben in dem weißen Lichte und glänzenden und so deutliche, glänzende und dunkle Ringe in einem homogenen Lichte hervor. Da die beiden Flächen der Luftlamelle ganz parallel in der Nähe des Berührungspunktes sind, wo sich die farbigen Ringe bilden, so schlagen die beiden Wellensysteme den nämlichen Weg ein; dasjenige aber, welches an der zweiten Fläche reflektirt wurde, wird in Beziehung auf das andere, und zwar um eine gleiche oder doppelte Größe der Dicke der Luftlamelle, durch die es gegangen ist, verzögert sein. Man muß überdies bemerken, daß zwischen ihnen noch eine andere Verschiedenheit stattfindet, daß nämlich das erste innerhalb des Glases oder des dichteren Mediums reflektirt wird, während dies bei dem andern außerhalb des

untern Glases stattfand, woraus nach dem hier oben aufgestellten Principe ein Widerstand in den schwingenden Bewegungen hervorgeht. Wenn also wegen der Verschiedenheit der durchlaufenen Räume die beiden Wellensysteme übereinstimmend sein, d. h. alle ihre schwingenden Bewegungen nach der nämlichen Richtung vornehmen sollten, so schließen wir daraus, daß sie durchaus nicht miteinander übereinstimmen und umgekehrt, wenn die Verschiedenheit der durchlaufenen Wege eine vollkommene Nichtübereinstimmung anzeigt, so schließen wir daraus, daß ihre schwingenden Bewegungen vollkommen miteinander übereinstimmen. Dies vorausgesetzt, ist es leicht, die Lage der dunklen und hellen Ringe zu bestimmen.

„Zuerst müßte der Berührungspunkt, wo die Dicke der Luftlamelle 0 ist, da er keine Verschiedenheit im Gange zwischen den beiden Wellensystemen hervorbringt, eine vollkommene Uebereinstimmung unter ihren Schwingungen begründen, daher werden, weil man wegen des entgegengesetzten Zeichens, das Widerspiel annehmen muß, ihre Schwingungen in vollkommener Nichtübereinstimmung sein und der Berührungspunkt oder Reflexionspunkt wird einen schwarzen Flecken zeigen. Jemehr man sich von demselben entfernt, nimmt die Dicke der Luftlamelle zu. Wir wollen bei dem Punkte stehen bleiben, wo ihre Dicke einer Viertelsundulation gleich ist; die Differenz der durchlaufenen Wege wird eine halbe Undulation betragen, welche einer vollkommenen Nichtübereinstimmung entspricht und demnach wird eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen den beiden Wellensystemen stattfinden; dies wird also der hellste Punkt im ersten glänzenden Ringe sein. Beträgt die Dicke der Luftlamelle die Hälfte einer Undulation, so ist die Differenz der durchlaufenen Wege einer Undulation gleich, welche der vollkommenen Uebereinstimmung entspricht, und es

findet vollständige Nichtübereinstimmung Statt, und dieser Punkt ist die Mitte eines dunkeln Ringes.

„Nach Arago's Versuchen über die Ortsverrückung, welche die Fransen erleiden, die von der Interferenz zweier Lichtbüschel herrühren, wenn der eine von den beiden durch eine dünne Lamelle gegangen ist, haben wir gesehen, daß die Lichtundulationen in dieser Lamelle nach dem Verhältniß des Brechungssinus zum Einfallssinus in Beziehung auf den Weg des Lichtes von der Luft in die Lamelle verkürzt wurden. Dieses Princip ist allgemein und erstreckt sich auf alle brechende Körper, ihre Natur mag auch sein, welche sie wolle, so verhält sich z. B. die Undulationslänge in der Luft zu der Undulationslänge in dem Wasser, wie sich der Sinus des Einfallswinkels der Strahlen, welche schief aus der Luft in das Wasser gehen, zum Sinus ihres Brechungswinkels verhält. Wenn man demnach Wasser zwischen die zwei sich berührenden Gläser bringt, welche farbige Ringe zeigen, so wird die Luftlamelle durch eine Wasserlamelle ersetzt, in welcher die Lichtundulationen nach dem so eben angegebenen Verhältnisse kürzer werden, und die Dicken dieser beiden Lamellen, welche die nämlichen Ringe reflektiren, stehen unter sich in dem Verhältnisse des Einfallssinus zum Brechungssinus in Beziehung auf den Weg des Lichtes von der Luft in das Wasser. Dies ist genau das Resultat, welches Newton durch die Beobachtung gefunden hatte, indem er die Durchmesser der in den beiden Fällen erzeugten Ringe verglich, woraus er durch den Kalkül die entsprechenden Dicken ableitete. Dieses merkwürdige Verhältniß zwischen den Erscheinungen der Beugung, der Brechung und der farbigen Ringe, das sich in gar nichts mit der Emanationshypothese vereinigen läßt, hätte schon im Voraus durch die Undulationstheorie angegeben werden können, nach welcher die Sinus der Einfalls- und der Brechungswinkel nothwendigerweise den Ge-

schwindigkeiten der Fortpflanzung oder den Undulationslängen des Lichtes in den beiden Mitteln proportional sein müssen.

„Nachdem Young die Bildung der Ringe, welche durch die Interferenz der reflektirten Strahlen an der ersten und an der zweiten Oberfläche der Luftlamelle reflektirt wurden, erklärt hatte, so bewies er, daß die weit schwächeren Ringe, die man durch Transmission sieht, aus der Interferenz der Strahlen entspringen, welche unmittelbar mit denen fortgepflanzt wurden, mit denen dies erst nach zwei aufeinanderfolgenden Reflexionen in der dünnen Lamelle der Fall war, und daß sie demnach dem Versuche gemäß complementär der reflektirten Ringe sein müssen. Wir halten es für überflüssig, die Erklärung davon anzugeben, welche der vorhergehenden ähnlich ist; wir wollen bloß bemerken, daß die außerordentliche Bläße der Ringe, welche unter dem senkrechten Einfallen fortgepflanzt wurden, von der großen Intensitätsdifferenz der beiden Wellensysteme herrühre, welche sie erzeugen.

„Wir werden ebensowenig von den Ringen sprechen, welche durch ein schiefes Einfallen reflektirt werden, und begnügen uns, anzuführen, daß die Theorie erkläre, warum ihr Durchmesser mit der Schiefe zunehme, und daß die einfache Formel, auf welche sie führt, die Thatsachen mit Genauigkeit wenigstens in so weit, als die Schiefen nicht zu groß sind, darstelle. Wenn die Strahlen, welche in die Luftlamelle eindringen, sehr geneigt sind, so stimmen die Resultate des Kalküls nicht mehr mit den Newton'schen Maßen überein; es ist aber wahrscheinlich, daß diese Regelwidrigkeit davon herrühre, daß die gewöhnlichen Gesetze der Brechung, nach welchen die Formel berechnet ist, einige Modifikationen auf dem sehr schiefen Wege der Strahlen zwischen zwei so nahe gebrachten Flächen erleiden.

„Wir haben bis jetzt nur die Ringe betrachtet, welche ein einfaches Licht hervorbringt; es ist aber leicht daraus zu schließen, was bei dem weißen Lichte der Fall sein müsse und zwar durch Schlüsse, welche denjenigen ähnlich sind, die wir bereits schon vorher in Beziehung auf die Fransen in dem Versuche mit den beiden Spiegeln angestellt haben; man kann übrigens die Analyse des Phänomens, welche mit der größten Ausführlichkeit vorgetragen ist, in der Optik Newtons finden, welcher zuerst bewiesen hat, daß die von dem weißen Lichte hervorgebrachte Erscheinung immer aus der Vereinigung der verschiedenen Wirkungen der farbigen Strahlen entstehe, woraus es besteht."

Newton entdeckte und beobachtete die Farben, welche von den dicken Lamellen hervorgebracht wurden, indem er auf einen Hohlspiegel von verzinntem Glase einen Sonnenstrahl so fallen ließ, daß ihn der Spiegel in der nämlichen Richtung wieder zurücksendet; man bemerkt um die Oeffnung herum auf einer zu diesem Ende hergerichteten weißen Pappe eine Reihe farbiger sehr glänzender Ringe. Ist die einfallende Farbe einfach, so sind die Ringe abwechselnd dunkel und von dieser Farbe; man zählt deren oft 120, ja sogar 150. Mit dem weißen Lichte zeigen die Ringe die Farben der Ringe, welche von den dünnen Lamellen gebildet werden. Der Herzog von Chaulnes und Herschel haben bemerkt, daß die Ringe um so glänzender waren, wenn der Spiegel matt oder mit einer leichten Staubschichte bedeckt war. Newton hat in seiner Theorie von den Anwandlungen eine Erklärung der Erscheinung gegeben, die nur eine natürliche Folge von dem Undulationssysteme ist. Wir übergehen mit Stillschweigen andere Färbungsphänomene, welche von den Interferenzen abhängen, weil wir nur die Absicht haben, die allgemeinen Thatsachen zu berichten.

10. Von der doppelten Brechung.

Ein Lichtstrahl erleidet die doppelte Brechung in einem Mittel, wenn sich beim Eingang in dieses Mittel zwei gebrochene Büschel erzeugen. Das Phänomen der doppelten Refraktion, welches von Erasmus, Bartolin in dem isländischen Spathe beobachtet wurde, ist von Newton, sodann von Huyghens untersucht worden, welcher die Gesetze davon bestimmte und es auf seine Wellentheorie bezog, indem er annahm, daß das ätherische Medium, welches in dem Krystall sich befindet, eine solche Beschaffenheit habe, daß dieses Medium nach einer Richtung hin einen schnelleren Impuls fortpflanzen könne, als nach einer andern.

Newton nahm an, daß ein Lichtstrahl nach seinem Austritt aus einem Krystalle Eigenschaften besitze, welche von dem umgebenden Raume abhängig seien, und welche er sodann auf seinem ganzen übrigen Wege beibehalte. Auf diese Eigenschaften hat man alle Polarisationserscheinungeu bezogen, wie wir bald sehen werden.

Die Erscheinung der doppelten Brechung zog die Aufmerksamkeit der Physiker beständig auf sich, ohne daß irgend eine wichtige Entdeckung die Folge davon war. Wollaston gab diesen Untersuchungen dadurch einen neuen Impuls, daß er die Gesetze der doppelten Brechung, welche von Huyghens angezeigt worden waren, bestätigte. Laplace wandte die Newton'sche Theorie auf sie an; das französische Institut glaubte auf diesen Gegenstand einen Preis setzen zu müssen, welcher Malus zuerkannt wurde, der, indem er sich mit dieser Frage beschäftigte, die Polarisation des Lichtes entdeckte.

Wir wollen jetzt die allgemeinen Thatsachen angeben. In Krystallen, welche von einem regelmäßigen Polyeder abstammen, ist die Brechung einfach

und richtet sich nach dem Descartes'schen Gesetze; in denjenigen, deren Gestalt vom Würfel oder von den andern regelmäßigen Polyedern verschieden ist, findet eine doppelte Brechung Statt.

Die Krystalle, welche die Eigenschaft der doppelten Brechung besitzen oder doppelt brechend sind, wurden in zwei Klassen eingetheilt: in Krystalle mit einer Achse und in Krystalle mit zwei Achsen; weil es in diesen Krystallen immer eine oder zwei Richtungen gibt, nach welcher, oder nach welchen sich ein Lichtstrahl nie gabelförmig theilt: diese Richtungen heißen optische Achsen.

Doctor Brewster hat als allgemeines Gesetz aufgestellt, daß in den einachsigen Krystallen die Achse der doppelten Brechung immer mit der optischen Achse zusammenfalle. In dem Hauptschnitte dieser Krystalle richtet sich der gewöhnliche Strahl in jeder Lage nach dem Descartes'schen Gesetze; ebenso verhält es sich mit dem außergewöhnlichen Strahle; jedoch ist bei dem letzteren das Verhältniß der Sinus nicht mehr das nämliche. In einem auf der Achse senkrechten Schnitte sind beide, der gewöhnliche und der außergewöhnliche Strahl dem Descartes'schen Gesetze unterworfen, und erzeugen die Brechungsindexe, welche gewöhnlicher Index und außergewöhnlicher Index genannt werden.

Biot hat zuerst eine Vergleichung dieser beiden Indexe bei einer großen Anzahl von Krystallen angestellt, und er ist dadurch zu dem merkwürdigen Resultate gelangt, daß der gewöhnliche Index bald größer, bald kleiner ist; er hat die einen repulsive, die andern attraktive Krystalle genannt. Brewster bezeichnete sie mit dem Namen positiver und negativer Krystalle.

Huyghens hatte geometrische Construktionen geliefert, wodurch es möglich wurde, einen gebrochenen Strahl, wenn man seinen Einfallspunkt kannte, zu

construiren, sei es nun, daß er sich im Hauptschnitte oder in dem auf der Achse senkrechten Schnitte oder in irgend einer Lage in einem einachsigen Krystalle befinde. Malus bestätigte durch einen sinnreichen Versuch Huyghens Construktionen. Fresnel entdeckte durch die Theorie und bewies durch den Versuch, daß es in den zweiachsigen Krystallen keinen gewöhnlichen Strahl mehr gebe, d. h. daß die beiden Strahlen, welche aus der Spaltung eines einfallenden Strahles entstehen, sich durchaus nicht nach den allgemeinen Gesetzen der Brechung richten. Er hat gefunden, indem er die Linien, welche der Winkel der beiden Achsen und sein Supplement in zwei gleiche Theile theilen, mittlere und supplementäre Linie nannte, daß sich in einem Schnitte der auf der mittleren Linie senkrecht ist, einer von den gebrochenen Strahlen nach dem gewöhnlichen Gesetze der Brechung und daß in einem Schnitte, der auf der supplementären Linie senkrecht steht, der andere sich nach dem gewöhnlichen Brechungsgesetze richte.

Die allgemeinen Gesetze der doppelten Brechung in den einachsigen und zweiachsigen Krystallen sind durch die Analyse bestimmt worden, und die Resultate, welche man daraus ableitete, stimmen vollkommen mit denen des Versuchs überein. Die Erscheinung der doppelten Brechung wurde zur Messung sehr kleiner Krystallwinkel angewandt. Rochon construirte zu diesem Zwecke einen Apparat, welchen man Mikrometer mit doppeltem Bilde oder Rochon'sches Fernrohr nennt. Dieser Apparat ist dazu bestimmt, den Winkel, unter welchem man einen Gegenstand sieht, unmittelbar anzuzeigen und folglich die Größe des Gegenstandes selbst, wenn man seine Entfernung kennt und umgekehrt. Er besteht aus einem Fernrohre und einem Systeme von zwei Prismen aus Bergkrystall; in dem einen ist die Fläche, welche dem Gegenstande zugekehrt ist, senkrecht zur Achse ge-

schnitten, und in dem zweiten sind die Seitenflächen parallel mit der Achse geschnitten. Wir werden auf die doppelte Brechung bei der Polarisation des Lichtes, mit der wir uns nun beschäftigen wollen, zurückkommen.

11. Polarisation.

Die Erscheinung der doppelten Brechung hat zur Entdeckung von einer Klasse von Thatsachen geführt, welche zeigen, daß die Lichtstrahlen durch Refraktion und Reflexion besondere Eigenschaften erlangen können, durch welche sie sich von den Strahlen, die unmittelbar von der Lichtquelle herkommen, unterscheiden. Malus war es, welcher die Entdeckung dieser Thatsachen im Jahr 1810 unter dem Namen **Polarisation des Lichtes** bekannt machte, welche der Optik eine ungeheure Bahn durch ihre Ausdehnung und durch ihren Reichthum eröffnete, und von welcher die chemischen und Naturwissenschaften eine große Unterstützung erhalten werden. Folgendes ist die Grundthatsache: Ein Lichtstrahl erhält nach einer auf einem Glasspiegel unter einem Winkel von 35°,25 stattgehabten Reflexion folgende Eigenschaften:

1) Er gibt beim Durchgange durch ein doppeltbrechendes Prisma nur ein einziges Bild, wenn der Hauptschnitt parallel oder senkrecht zur Reflexionsebene ist, während er in einer andern Lage zwei, mehr oder minder intensive Bilder gibt.

2) Dieser Strahl erleidet keine Reflexion, wenn er auf eine zweite Glasplatte unter demselben Winkel von 35°,25 auffällt, wenn die Einfallsebene auf dieser zweiten Platte senkrecht mit der Einfallsebene auf der ersten ist, während er unter andern Einfallsebenen theilweise reflektirt wird.

3) Er ist nicht im Stande, senkrecht durch eine Turmalinplatte, deren Achse parallel mit der Re-

flexionsebene ist, durchzugehen; während er mit einer gewissen Intensität durchgeht, je mehr sich die Achse des Turmalins der senkrechten Stellung zur Reflexionsebene nähert.

Zur Zeit dieser Entdeckung stand die Emanationstheorie noch sehr im Ansehen, und das Wort Polarisation erinnerte an das, was man in diesem Systeme annahm, daß nämlich die Lichtmoleküle Pole besäßen; daß im polarisirten Strahle die ähnlichen Pole auf die nämliche Weise geordnet wären; weßwegen Malus Polarisationsebene diejenige Ebene nannte, nach welcher das Licht reflektirt wurde, das durch Reflexion polarisirt ist, und von welchem man annahm, daß es die Achsen der Lichtmoleküle enthalte.

Brewster fand seinerseits, daß sich ein Strahl durch eine Reihe aufeinander folgender Reflexionen auf zwei Spiegeln unter beliebigen Einfallsebenen polarisiren könne. Malus entdeckte, daß die einfache Brechung einen Lichtstrahl polarisiren könne; daß ein Strahl bei seinem Durchgange durch eine Glassäule vollständig polarisirt werde, und daß er sein Polarisationsmaximum erhalte, wenn der Strahl auf die erste Platte unter dem Polarisationswinkel auffalle. Indem Malus die doppelte Brechung in ihren Beziehungen zu der Erscheinung der Polarisation untersuchte, fand er, daß die beiden Bündel der gewöhnliche und der außergewöhnliche, welche das natürliche Licht bei seinem Durchgange durch den Hauptschnitt eines Krystalls liefert, polarisirt wurden, der erste in der Einfallsebene, der andere senkrecht zu dieser Ebene. Man fand endlich, daß sich, wenn irgend eine Fläche von einem lebhaften Lichte erleuchtet wird, unter den Strahlen, welche dasselbe nach allen Richtungen hin reflektirt, einige befinden, welche in einer zur Ausfallsebene senkrechten Ebene polarisirt werden. Es reicht jedoch nicht hin,

ein Phänomen zu entdecken uud dasselbe zu beschreiben, man muß auch die Gesetze auffinden, nach welchen es sich richtet; dies thaten Malus und die Physiker, welche sich nach ihm auf die neue Laufbahn warfen, die er eröffnet hatte.

Zuerst fand man, daß nicht alle Substanzen das Licht unter demselben Winkel polarisiren; so polarisirt das Glas das Licht durch Reflexion unter einem Winkel von ungefähr 35°, der Diamant unter einem Winkel von 22° u. s. w. Man wandte mehrere Verfahrungsarten an, um diesen Winkel mit Genauigkeit zu bestimmen: wir führen besonders das Verfahren Arago's an, durch welches man eine gewisse Anzahl von Bestimmungen erhielt. Brewster verdankt jedoch die Physik, die Entdeckung eines Gesetzes, das durch seine Einfachheit merkwürdig ist, wodurch man den Polarisationswinkel als eine Funktion des Brechungsinderes erhält; ich gebe hier den Ausdruck dieses Gesetzes:

Die Tangente des Polarisationswinkels mit der Normalen ist dem Brechungsinder gleich. Dieses Gesetz läßt sich auch in folgendes übertragen: der Polarisationswinkel ist derjenige, unter welchem der reflektirte Strahl senkrecht auf dem gebrochenen Strahle ist.

Das Licht polarisirt sich nicht allein an der ersten Oberfläche der Körper, sondern auch in dem Innern ihrer Masse durch die Reflexion an ihrer zweiten Oberfläche.

Malus hatte nach seiner wichtigen Entdeckung ein empirisches Gesetz aufgestellt, um die Intensität des polarisirten Strahles zu bestimmen, aber er hatte es nur in gewissen Fällen bestätigt; Arago bestätigte es durch unmittelbare Versuche. Fresnel fand vermittelst seiner Theorie dieselbe Formel, wie Malus wieder. Diese Formel leitet auf die Folgerung,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde Bewegung der Polarisationsebene genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde B e w e g u n g d e r P o l a r i s a t i o n s e b e n e genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsinder dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde Bewegung der Polarisationsebene genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde Bewegung der Polarisationsebene genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsinder dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde B e w e g u n g d e r P o l a r i s a t i o n s e b e n e genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde Bewegung der Polarisationsebene genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde B e w e g u n g d e r P o l a r i s a t i o n s e b e n e genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde Bewegung der Polarisationsebene genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

daß ein Büschel natürlichen Lichtes angesehen werden könne, als bestehe er aus zwei Büscheln von gleicher Intensität, welche unter einem rechten Winkel polarisirt sind, indem der eine seine Polarisationsebene rechts von der Einfallsebene, und der andere sie links hat. Nach der Formel des Malus ist die Intensität des gewöhnlichen Strahls der Intensität des einfallenden Strahls gleich, multiplicirt mit dem Quadrat des Cosinus des Winkels, welcher von dem Hauptschnitte des Primas und der Polarisationsebene gebildet wird, während die Intensität des außergewöhnlichen Strahls gleich der Intensität des einfallenden Strahls multiplicirt mit dem Quadrate des Sinus des nämlichen Winkels ist.

Bei der Reflexion des Lichtes hatte man bis auf Fresnel das Gesetz der Intensität .des reflektirten Lichtes noch nicht bestimmt; man wußte nur, daß sich die Größe desselben mit der Schiefe des Einfallens vermehre; aber man wußte nicht, welches die den verschiedenen Intensitäten entsprechenden Neigungen wären. Diese Frage wurde vermittelst der Polarisationsphänomene einerseits von Arago, andererseits von Fresnel gelöst, welchem man eine Formel verdankt, wodurch man in Stand gesetzt wird, die Lichtmengen, welche eine Substanz unter irgend einer Schiefe reflektirt, zu berechnen, wenn der Brechungsindex dieser Substanz bekannt ist.

Wenn ein Strahl polarisirten Lichtes von einer polirten Oberfläche unter verschiedenen Schiefen reflektirt wird, so ist der reflektirte Theil noch polarisirt; es ereignet sich aber gewöhnlich, daß seine Polarisationsebene die Richtung verändert; diese Richtungsveränderung wurde B e w e g u n g d e r P o l a r i s a t i o n s e b e n e genannt. Fresnel war ferner der Erste, welcher eine Formel lieferte, um diese Bewegung auszudrücken.

Wir haben bereits gesagt, daß mehrere auf

hinreichend, um die nämlichen Erscheinungen zu geben. Die Krystalle verhalten sich in ähnlichen Umständen auf ganz gleiche Weise. Zum Schlusse von dem, was wir über das Licht zu sagen haben, haben wir nur noch von der Absorption des polarisirten Lichtes zu sprechen.

Absorption des polarisirten Lichtes.

Der Turmalin zeigt diese Erscheinung in einem merkwürdigen Grade; diese Substanz hat die doppelte Brechung, wie man dies daran erkennt, daß man ein Turmalinprisma, dessen Kante mit der Achse parallel und dessen brechender Winkel sehr klein ist, dreht; er hat überdies die Eigenschaft, die in dem Hauptschnitte polarisirten Büschel zu absorbiren, während er die beibehält, die polarisirten Büschel, die auf diesem Schnitte senkrecht stehen, durch zu lassen. Es gibt klare oder etwas bläuliche Turmaline, welche den gewöhnlichen Strahl nur dann absorbiren können, wenn sie eine große Dicke besitzen, während die braunen Turmaline in sehr dünnen Lamellen diese Erscheinung hervorbringen. Kohlensaurer Baryt gibt zwei Bilder von fast gleicher Intensität, während er in anderen Richtungen den Büschel, welcher durch ihn durchgeht, fast ganz absorbirt. Brewster hat mit den Salpeterkrystallen eine interessante Beobachtung angestellt, welche ihn darauf leitete, das Spiel der Farben in den Substanzen zu studiren, welche den Dichroismus besitzen, d. h. welche zwei verschiedene Farben sehen lassen, je nachdem man sie in der einen oder in einer anderen Richtung betrachtet, und er hat gefunden, daß diese Farben von der Lage der optischen Achsen abhängen. Babinet hat die Absorptionserscheinungen oder die Erscheinungen der Vernichtung gewisser Strahlen des Spektrums, wenn das Licht durch gewisse mineralische Substanzen geht, benützt, um unterscheidende Merkmale dieser Substanzen daraus zu finden,

unter anderen die Prismen von Rubin, Granat, Zirkon, Beryll, Topas, welche auffallende Verschiedenheiten in den Spektren zeigen, die man durch die von ihm angegebene Experimentirungsart hervorbringt. Er wendet gleichfalls die Absorption durch Polarisation an, um die Körper von einander zu unterscheiden und bemerkt in dieser Beziehung, daß alle Substanzen, welche die attraktive Brechung zeigen, das Maximum der Absorption an dem außergewöhnlichen Strahle ausüben und daß im Gegentheile alle die, welche die doppelte repulsive Brechung zeigen, dieses Maximum an den gewöhnlichen Strahlen ausüben; diese Beobachtung hat es ihm möglich gemacht, zwei Gruppen von Körpern und verschiedene Substanzen zu unterscheiden, welche übrigens eine große Analogie unter sich haben. Er hat ebenfalls den Dichroismus untersucht und gezeigt, daß das Licht, welches durch einen Körper mit dieser Eigenschaft fortgepflanzt wird, aus zwei Theilen besteht, dem einen, welcher nicht polarisirt ist und welcher in allen Richtungen durchgeht, dem andern, welcher polarisirt ist und der in größerer oder geringerer Menge durchgeht, je nachdem er sich den Brechungsaxen mehr nähert oder sich mehr von denselben entfernt. Die beobachteten Färbungen rühren von der Mischung dieser beiden Lichter her. Babinet beweist auch die Erscheinungen, welche die Strukturen, die durch parallele Lamellen anwachsen, die faserigen Strukturen u. s. w. auf das Licht hervorbringen. In dem ersten Falle erzeugt das Licht bei seinem Durchgange durch den Schnitt farbige Streifen, die denen der Netze ähnlich sind; im zweiten entsteht ein Kranz daraus. Diese Erscheinungen können dazu behülflich sein, in den Körpern einen Bau mit parallelen oder faserigen Lamellen in solchen Theilen zu entdecken, wo man ihn gar nicht vermuthen konnte. Endlich hat Babinet gezeigt, daß die Wirkungen der Element=

steine sich an die Netzerscheinungen knüpfen, welche aus dem inneren Bau der regelmäßig krystallisirten Körper entspringen. Wir glauben, in diesem Abrisse die hauptsächlichsten Thatsachen angeführt zu haben, woraus in unsern Tagen die Optik besteht, und auf welche wir uns in der Folge berufen können.

Siebentes Kapitel.

Von der Wärme.

Von den verschiedenen Meinungen über die Ursache der Wärme.

Aristoteles betrachtete die Wärme als eine Qualität oder ein Accidenz, das die homogenen Dinge vereint und die heterogenen Dinge trennt. Die Epikuräer und die Anhänger der Korpusculartheorie verwarfen diese Meinung und betrachteten die Wärme als ein wesentliches Vermögen oder eine Eigenschaft des Feuers oder vielmehr als eine flüchtige Substanz des Feuers selbst, die auf Atome reduzirt sei und aus den feurigen Körpern ausströme. Man sieht daraus, wie dunkel die Begriffe der Alten über die Ursache der Wärme waren.

Homberg, Lemery, Sgravesand und besonders Boerhaave definirten folgendermaßen das Feuer: Ein Körper sui generis, der so erschaffen wurde, welcher in nichts verändert werden kann, auch nicht durch irgend einen anderen Körper auf's Neue hervorgebracht noch in einen andern verwandelt werden kann und dessen Wirkungen Wärme und Licht sind. Baco, Boyle und Newton theilten diese Ansicht nicht; nach ihrer Ansicht war die Wärme keine den Körpern ursprünglich anhängende Eigenschaft, wohl aber eine Eigenschaft, welche in denselben mechanisch entwickelt werden könne. Descartes und seine Anhänger sprachen eine

ähnliche Ansicht aus: Nach ihnen bestand die Wärme in einer gewissen Bewegung der mannigfaltigen Theile eines Körpers. Wir übergehen mit Stillschweigen die anderen systematischen Ansichten, welche von keiner Wichtigkeit sind, um uns vorzüglich an die zwei Meinungen zu halten, welche in der Wissenschaft herrschen: wir meinen das Emanations- und das Undulationssystem.

In dem ersten nimmt man an, daß die Wärme ein unwägbares Fluidum sei, das in allen Körpern verbreitet ist und das, wenn es frei wird, von dem einen Körper in den andern übergehen kann. Dieses System galt bis zu der Entdeckung der Gesetze der strahlenden Wärme, welche auf Resultate führte, welche (wenigstens in einer großen Anzahl von Fällen) denjenigen so ähnlich waren, welche man mit dem Lichte erhielt, daß man allgemein annahm, daß die Wärme von einer schwingenden Bewegung der Moleküle herrühre, welche durch die Vermittlung des Aethers auf die Moleküle der umgebenden Körper fortgepflanzt würde. Die Versuche und die Deduktionen des Th. Young, Fresnel, Arago, Melloni und Forbes haben mächtig dazu beigetragen, diese Meinung zu verstärken.

Um die Erscheinungen der Wärme methodisch zu untersuchen, erwägt man fünf Theile: 1) die Quellen, aus welchen sie entspringt; 2) die Fortpflanzung, welche von diesen Quellen auf die Körper stattfindet, welche in unmittelbarer Berührung mit denselben sind, oder sich in einer Entfernung von denselben befinden und die Gesetze dieser Fortpflanzung; 3) die Wirkungen, welche von der Wärme nach den verschiedenen Graden ihrer Intensität an den Körpern hervorgebracht werden; 4) das Maß dieser Wirkungen; 5) die Wirkungen der Wärme auf die Gase und die Dämpfe.

Unter den zahlreichen Quellen der Wärme, welche

uns die Natur, die Physik und die Chemie zeigt, rechnet man besonders die Sonne, die Erdwärme, die Sternwärme, die mechanischen und chemischen Wirkungen, die elektrischen Entladungen und die Capillarwirkungen.

Wir haben bis jetzt nichts über die Ursache erfahren können, welche die Sonnenwärme hervorbringt; man hat vor einigen Jahren die Meinung ausgesprochen, daß sie wohl das Resultat elektrischer Strömungen sein könnte, welche um den Sonnenkern cirkuliren, weil dieser Kern, nach den schon in den frühesten Zeiten angestellten Beobachtungen sich nicht verändert zu haben scheint. Nichts zeigt das Gegentheil, nichts beweist aber auch, daß dem so sei; so daß man sich damit begnügen muß, diese Hypothese gewissermaßen einzuregistriren, um in dem Falle wieder auf dieselbe zurückzukommen, wo die Entdeckung neuer Thatsachen Veranlassung geben würde, sie einer neuen Prüfung zu unterwerfen. Unterdessen hat man gesucht, die Wärmemenge zu messen, welche die Sonne in dem Verlaufe eines Jahres auf die Erde verbreitet. Diese Menge kann nach Pouillet so angesehen werden, als wäre sie derjenigen gleich, welche erforderlich ist, um eine Eisschichte von 14 Meter Dicke, welche sie überall bedeckte, zu schmelzen, und doch ist sie nur $1/_{2381000000}$ der Wärme, welche nach allen Richtungen hin ausstrahlt.

Vielfach angestellte Versuche haben bewiesen, daß die Erdwärme in dem Verhältniß, als man in die Erde eindringt, um 1 Grad nach dem Centesimalthermometer auf 30 bis 40 Meter zunimmt, und daß die jährlichen Temperaturveränderungen, welche von den Wärme erregenden Einflüssen der Atmosphäre herrühren, dagegen bis auf eine gewisse Tiefe, wo sie nicht mehr wahrnehmbar sind, abnehmen. Man schreibt gewöhnlich die Zunahme der Erdtemperatur einer Centralwärme oder Urwärme zu. Poisson hat diese Mei-

nung nicht angenommen; nach ihm besteht diese Wärme nur bis auf eine gewisse Tiefe und ist das Resultat der Erhitzung, welche die Erde, als sie in einer sehr entfernten Zeit durch Theile des Raumes flog, die sich in einer sehr hohen Temperatur befanden, erlitten hat. Dieser analytischen Deduktion kann man den Beweis entgegenstellen, welcher auf tausend geologischen Thatsachen beruht, daß die Erde, welche ursprünglich in einem glühenden Zustande gewesen ist, bis auf unsere Zeit eine Centralwärme behalten mußte, wie dies übrigens Fourier bewiesen hat.

Unter Sternwärme versteht man diejenige, welche alle Sterne ausstrahlen würden, wenn die Sonne, die Erde, die Planeten, d. h. unser Sonnensystem nicht wären. Die Temperatur, welche aus diesem Wärme erregenden Zustande hervorkäme, wäre nach Fourier geringer als die an den äußersten Grenzen der Atmosphäre und demnach geringer als die niedrigste Temperatur, welche auf der Oberfläche der Erde beobachtet wurde und welche — 60 Grade beträgt. Poisson hat die Temperatur des Raumes nur unter 13 Grade angenommen und die der Atmosphäre an ihrer Grenze auf einen weit niedereren Grad gesetzt. Wenn dem so wäre, so sieht man nicht ein, wie ein Medium, das sich zwischen zwei anderen befände, die eine höhere Temperatur als die seinige besitzen, beständig seinen Wärme erzeugenden Zustand behalten könnte.

Die mechanischen Wirkungen und überhaupt Alles, was die Molekülen erschüttert, wie Reibung, Druck, Stoß u. s. w., sind eben so viele Ursachen der Wärmeentwicklung. Diese Thatsache ist so allgemein bekannt, daß wir sie nur anzuführen brauchen.

Die chemischen Wirkungen erzeugen gleichfalls warmmachende Erscheinungen. Bei den Verbindungen findet Wärmeentwicklung Statt; bei den Auflösungen ein Sinken der Temperatur; die hervorgebrachten Er=

scheinungen hängen aber auch noch von verschiedenen Ursachen ab, unter welchen wir die Verschiedenheit der Wärmecapacität der sich bildenden Zusammensetzung und ihrer Elemente anführen. Die Wärmeentwicklung beim Verbrennen und im Allgemeinen bei den chemischen Wirkungen hat die Aufmerksamkeit der Chemiker und der Physiker, welche eine der Grundlagen der neueren Chemie daraus gemacht haben, besonders auf sich gezogen; die Wärme ist aus dem nämlichen Gesichtspunkte von denen betrachtet worden, die sich mit der elektrochemischen Theorie abgaben.

Die elektrischen Entladungen bringen jedesmal Wärme hervor, wenn die Elektricität Schwierigkeiten findet, in den Körpern zu cirkuliren.

Endlich machen die Capillarerscheinungen, wie alle Molekularwirkungen, Wärme frei. Diese Entwicklung bringt bisweilen eine Erhöhung von 1 bis 2 Grade hervor; gewöhnlich beträgt sie aber nur Brüche von einem Grade.

Von der Fortpflanzung der Wärme durch Ausstrahlen und durch unmittelbare Berührung.

Die Fortpflanzung der Wärme durch Ausstrahlen und durch den Contakt, oder durch unmittelbare Fortpflanzung, ist der Gegenstand zahlreicher Forschungen gewesen, welche ihre Urheber auf die Entdeckung wichtiger Gesetze geleitet haben. Das Ausstrahlen der Wärme ist, wie das Licht, den Gesetzen der Reflexion, der Brechung und der Polarisation unterworfen.

Um die Wirkungen des Ausstrahlens zu beobachten, wendet man Apparate an, die man Thermoskope nennt, von denen später die Rede sein wird, oder man gebraucht auch wohl thermoelektrische Säulen in Verbindung mit einem Multiplikator.

Die Reflexion der Wärme beobachtet man vermittelst zweier sphärischen Spiegel, die so gestellt sind,

daß, wenn man in den Brennpunkt des einen derselben einen erwärmten Körper und in den Brennpunkt des andern einen Thermometer bringt, dieser letztere die Wirkungen des Ausstrahlens anzeigt, welche in dem leeren Raume, wie in der Luft, die nämlichen sind. Was die Geschwindigkeit der strahlenden Wärme anbetrifft, so weiß man, daß sie sehr groß ist; bis jetzt ist sie aber nicht bestimmt worden; in Beziehung auf ihre Dichtheit, so ist sie, wie die des Lichtes, in dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung verschieden. Man beweist dieses Gesetz vermittelst des Thermoskops oder Differenzialthermometers.

Die ausgestrahlte Wärme der auf der Erde befindlichen dunkel warmen Körper unterscheidet sich von der Sonnenwärme in Beziehung auf die Wirkung, die sie auf die durchsichtigen Substanzen ausübt, gänzlich. Mariotte ist der Erste, welcher diesen Unterschied angegeben hat. Als dies Scheele untersuchte, so fand er, daß die Wärme der auf der Erde befindlichen Körper von den Gläsern und den andern durchsichtigen Substanzen, deren Temperatur sie erhöht, aufgefangen wird, während die Sonnenwärme durch eben diese Körper hindurchgeht, ohne die Temperatur derselben zu modificiren. In dem ersten Falle wird sie fühlbare Wärme; in dem zweiten bleibt sie strahlende Wärme.

De la Roche, welcher diese Frage mit großem Scharfsinne behandelte, hat bewiesen, daß die Absorption der Erdwärme nur dann vollständig sei, wenn sich die Quelle der Wärme auf einer niedrigen Temperatur befindet; daß, wenn diese hoch wäre, die strahlende Wärme die Fähigkeit erlange, durch das Glas zu gehen und dies um so leichter, je höher die Temperatur sei. Daraus mußte man den Schluß machen, daß die auf der Erde befindliche Wärme und die Sonnenwärme sich nur hinsichtlich der Intensität

von einander unterscheiden. Er entdeckte sodann, daß die strahlende Wärme bei ihrem Durchgange durch eine durchsichtige Platte in derselben eine gewisse Modifikation erleide, die sie mehr oder minder geschickt mache, durch diese oder jene durchsichtige Substanz fortgepflanzt zu werden. Die so mannigfaltigen Erscheinungen des Strahlens ließen sich erst dann erklären, als Prevost aus Genf eine Theorie herausgab, welche den Forderungen der Wissenschaft entspricht. Diese Theorie beruht auf folgendem Principe: Alle Körper strahlen unaufhörlich Wärme nach allen Richtungen hin aus und absorbiren gleichfalls die, welche von andern Körpern ausgestrahlt wird, bis eine Gleichheit der Temperatur unter ihnen stattfindet: durch einen gegenseitigen Austausch tritt derjenige, welcher mehr hat, seinen Ueberfluß an denjenigen ab, welcher weniger hat. Indem man sich auf dieses Princip stützte, konnte man den Thau und andere meteorologische Erscheinungen erklären, die bis dahin nicht erklärt werden konnten.

Die Wärme, welche durch gewisse feste oder liquide Körper hindurchgeht, ist der Gegenstand interessanter Forschungen Melloni's gewesen, welcher mit Hülfe der thermoelektrischen Säule und des Multiplikators fand, daß die strahlende Wärme, welche von der Flamme einer sogenannten Locatelli'schen Lampe herkam, augenblicklich durch die durchsichtigen Mittel fortgepflanzt wurde; daß, wenn man auf ihrem Wege Platten von Alaun, von Steinsalz oder Bergkrystall von einer gemeinschaftlichen Dicke von 3 bis 4 Millimetern dazwischen stellte, diese Platten nicht die nämliche Menge strahlender Wärme fortpflanzen. Als Melloni statt des Alauns ein Stück schwarz gemachten Bergkrystall von weit größerer Dicke nahm, so fand er, daß dieser letztere, obgleich dicker und nicht so durchsichtig wie der andere, die größere Menge von Wärmestrahlen durchließ und daß die Durchsich-

tigkeit der Körper in Beziehung auf die strahlende Wärme von der eigentlichen Durchsichtigkeit verschieden sei.

Als Melloni statt der Flamme einer Lampe weißglühendes Platin nahm und zu dem Versuche eine Platte Alaun, Steinsalz und eine andere von Bergkrystall gebrauchte, so fand er, daß der Alaun keinen von den ausgestrahlten Wärmestrahlen, daß der Bergkrystall nur eine gewisse Menge derselben und daß das Steinsalz eine gedoppelte Menge durchlasse. Nun ist der Alaun eine vollkommen durchsichtige Substanz, welche strahlende Wärme von einem weißglühenden Platinaschwamme durchaus nicht durchläßt. Melloni nannte diathermanisch solche Körper, welche die strahlende Wärme durchlassen, und athermanisch diejenige, welche diese Eigenschaft nicht besitzen, wovon der Alaun ein Beispiel abgibt. Als er den Glanz, die Dicke und die Natur der Platten veränderte, so wurde er auf folgende, allgemeine Thatsachen geführt:

1) Je vollkommener der Glanz ist, desto beträchtlicher ist bei übrigens gleichen Umständen die Wärmemenge, welche durch die Platten geht.

2) Die Wärmemenge, welche durch die Platten von gleicher Dicke und verschiedener Natur geht, ist sehr verschieden, weil der geschwärzte Bergkrystall mehr davon durchgehen läßt, als der farblose, weil das Steinsalz der Körper ist, welcher am meisten davon durchgehen läßt und der Alaun am wenigsten.

3) Die durch eine Platte gehende Wärmemenge nimmt in dem Verhältnisse ab, wie ihre Dicke zunimmt, hievon ist jedoch das Steinsalz ausgenommen.

4) Wenn zwei Platten aufeinander gelegt werden, so ist ihre Wirkung geringer als die, welche eine einzige Platte besitzt, die eben so dick ist, als es die auf einander gelegten Platten mit einander sind.

5) Bei der Aufeinanderlegung mehrerer Platten

von gleicher oder von verschiedener Natur ist die hervorgebrachte Wirkung von der Ordnung der Uebereinanderlegung unabhängig.

6) Wenn man auf eine und dieselbe Platte einen Büschel von gleicher Intensität, der aber von verschiedenen Quellen herrührt, fallen läßt, so sind die fortgepflanzten Wärmemengen um so kleiner, je geringer die eigenthümliche Temperatur einer jeden Quelle ist; die Differenz ist um so kleiner, je dünner die Platten sind.

7) Die strahlende Wärme, welche durch eine diathermanische Substanz gegangen ist, ist mehr oder weniger fähig, durch andere Substanzen fortgepflanzt zu werden.

8) Wenn die strahlende Wärme durch eine ähnliche Platte geht, so erleidet sie an ihren beiden Oberflächen Reflexionen, welche sie um 0,077 ihrer anfänglichen Intensität bringen.

9) Die fortgepflanzte Wärmemenge entspringt endlich aus der Totalsumme der Strahlen, welche herauskommen, nachdem sie zwei, vier, sechs Reflexionen u. s. w. erlitten haben; die Strahlen aber, welche nach vier, sechs Reflexionen herauskommen, haben eine so geringe Intensität, daß man sie außer Acht lassen kann, obgleich ihre Anzahl so zu sagen unendlich groß ist.

Melloni's Versuche zwecken ferner dahin ab, zu beweisen, daß die strahlende Wärme, die von einer Wärmequelle ausströmte, aus verschiedenen Arten von Strahlen in veränderlichen Verhältnissen bestehe, so wie das Licht aus farbigen Strahlen zusammengesetzt ist, und daß es Substanzen gebe, welche gewisse Strahlen durchlassen, und andere, welche sie aufhalten.

Da die Wärme, wie das Licht, reflektirt wird, so mußte man erforschen, ob sich das reflektirende Vermögen mit der Beschaffenheit der Oberfläche und

der Natur des Körpers verändere; der Versuch hat bewiesen, 1) daß dieses Vermögen um so größer sei, je polirter die Oberfläche ist; 2) daß die Natur des Körpers einen großen Einfluß auf dieses Vermögen ausübe. Aus Leslie's, Melloni's und Rumfort's Versuchen erhellt, daß im Allgemeinen das reflektirende Vermögen bei den Metallen weit beträchtlicher, als bei den andern Körpern ist, während es bei dem Ruße Null und bei dem geölten Glase sehr schwach ist. Sie haben ferner gefunden, daß die Intensität des reflektirten Strahles mit der Neigung verschieden ist; daß sie sich in ihrem Minimum unter dem normalen Einfallen befinde, und daß sie in dem Verhältnisse zunehme, als sich der einfallende Strahl der Oberfläche nähert, und daß sich endlich das reflektirende Vermögen mit der Quelle der Wärme für alle Körper, mit Ausnahme der Metalle, verändert.

Außer dem reflektirenden Vermögen hat man auch noch das ausstrahlende und das absorbirende Vermögen untersucht. Das Ausstrahlungsvermögen ist jene Eigenschaft eines erwärmten Körpers, durch Ausstrahlen Wärme auszusenden; dieses Vermögen ist mit der Neigung des Strahls auf die Oberfläche verschieden und bei gleicher Neigung nicht bei jedem Körper dasselbe. Das absorbirende Vermögen ist die Eigenschaft eines Körpers, Wärme einzusaugen, die auf ihn durch das Ausstrahlen fortgepflanzt wurde.

Fourier hat bewiesen, daß die Intensität der Wärme, welche von einer Oberfläche ausgesendet wurde, dem Sinus des Winkels proportional sei, den die Richtung dieses Strahles mit der Ebene bildet. Leslie und Melloni haben gleichfalls das ausstrahlende Vermögen der Körper bestimmt, das das Umgekehrte von dem reflektirenden Vermögen ist; die Metalle haben das schwächste und der Ruß das stärkste Vermögen.

Das absorbirende Vermögen ist wie das aus-

strahlende verschieden und beide sind in dem Falle eines Gleichgewichts in der Temperatur oder in Beziehung auf eine und dieselbe Differenz zwischen der Temperatur des Körpers und der des umgebenden Mittels gleich. Dieses Vermögen ist von Leslie und Melloni für einige Substanzen bestimmt worden. Melloni hat überdies gefunden, daß die absorbirenden Vermögen mit den Wärmequellen verschieden seien.

Die Wärme besitzt außer der Eigenschaft, von einem Körper reflektirt, ausgestrahlt und absorbirt zu werden, auch noch, wie das Licht, die, polarisirt zu werden; Thatsachen, welche dazu beitragen, seine Identität mit demselben zu begründen. Die Polarisation der Wärme ist zuerst im Jahre 1810 von Berard angezeigt, sodann nach der Reihe von Powell, Melloni und Nobili in Zweifel gezogen und im Jahre 1834 von Forbes vermittelst Turmalinplatten oder Glimmersäulen wieder anerkannt worden. Die größte Menge polarisirter Wärme, die er mit einem Systeme von Glimmersäulen erhielt, war 0,4 der Wärme, die von einer weißglühenden Platinspirale ausströmte. Als Melloni diese Frage aufs Neue vornahm, so fand er gleichfalls die Polarisation der Wärme und untersuchte alle Eigenschaften derselben auf das Sorgfältigste. Er wandte die nämlichen Apparate, deren er sich bei dem Ausstrahlen der Wärme bedient hatte, und überdies noch ein System von zwei Turmalinen an. Aus seinen Versuchen geht hervor, daß bei einer Flamme von einer Lampe ohne Glas, die Absorption mit der Natur der Turmaline von 0,0371 bis 0,22 verschieden ist. Die dunkelgrünen und fahlgelben Turmaline geben die äußersten Grenzen ab.

Alle mathematische Fragen in Beziehung auf die Fortpflanzung der Wärme in den Körpern, die unter dem Einflusse von äußeren Ursachen der Erwärmung und der Abkühlung stehen, sind von Fourier gelöst und sodann von Laplace und Poisson weiter ausge-

führt und vervollständigt worden. Vermittelst der mathematischen Analysis konnte man die Bedingungen feststellen, von welchen die Erhaltung der wirklichen Temperatur der Erdoberfläche, sowie der Einfluß, den die Centralwärme auf unsere Klimate haben kann, und die Summe von Wärme abhängt, die wir in jeder Jahreszeit von der Sonne erhalten.

Wir wollen jetzt zu der Fortpflanzung der Wärme durch Contakt und demnach zu ihrer Fortpflanzung in die Körper übergehen. Wenn ein fester, erwärmter Körper mit einem andern im Contakte ist, der eine niederere Temperatur besitzt, so tritt der erste an den zweiten einen Theil seiner Wärme ab, die sich von Moleküle zu Moleküle durch Ausstrahlen fortpflanzt, indem sie an Intensität und um so schneller abnimmt, je ein besserer Leiter der Körper ist, der erwärmt wird. Begreiflich wird in einem gewissen Augenblicke die Temperatur eines jeden Punktes constant, obgleich sie von einem Punkte zu einem andern verschieden ist; dieser Gleichgewichtszustand findet Statt, wenn jede ideale Schnitte eben so viele Wärme an die nachfolgende Schichte abtritt, als sie der vorhergehenden Schnitte entzieht. Das Gesetz der Fortpflanzung ist dasjenige, welches angibt, wie die Wärme von einer Schnitte zur andern verschieden sei. Wenn man eine Metallstange betrachtet, welche so dünn ist, daß man alle Punkte einer und derselben Schnitte so ansehen kann, als besitzen sie die nämliche Temperatur, und wenn sie eine hinreichende Länge hat, so daß der Heerd der Wärme, in welchem sich einer ihrer Endpunkte befindet, durch unmittelbares Ausströmen auch nicht den geringsten Einfluß auf das andere Ende äußert, so beweist man, daß in Beziehung auf entfernte Punkte, auf solche, deren Entfernung von der Wärmequelle eine arithmetische Progression bildet, die Temperaturüberschüsse der Punkte in einer geometrischen Progression abnehmen. Der Grund dieser Pro-

gression läßt sich leicht aus der Leitbarkeit der Stange, von welcher er abhängt, ableiten. Durch dieses Verfahren hat Despretz das Leitungsvermögen einer gewissen Anzahl von Körpern bestimmt. Zuerst kommen die Metalle, sodann der Marmor, das Porzellan rc. und endlich die Substanzen, die aus sehr feinen Fasern bestehen, wie Baumwolle, Wolle, Stroh u. s. w. Was das Holz anbetrifft, so haben de la Rive und Marcet gefunden, daß die Leitbarkeit, die senkrecht auf die Fasern geht, geringer ist, als nach der Richtung der Fasern, und daß man die Holzarten in Beziehung auf ihr Leitungsvermögen folgendermaßen ordnen könne: Nußbaum, Eiche, Tanne, Pappel, Kork.

Die tropfbar flüssigen Körper sind im Allgemeinen schlechte Wärmeleiter; man war der Meinung, daß sie sich in denselben nicht durch das Ausstrahlen von Moleküle zu Moleküle, wie bei den festen Körpern, sondern durch das Platzmachen aufeinanderfolgender Schichten fortpflanze, welche, da sie ungleich erwärmt werden und demnach keine gleiche Dichtheit besitzen, sich unaufhörlich mit einander vermengen. Da man aber seitdem gefunden hatte, daß, wenn man einen erwärmten Körper an die Oberfläche eines liquiden Körpers brachte, auf dessen Boden sich ein Thermometer befand, auf diesen ein Einfluß ausgeübt wurde, so mußte man daraus schließen, daß eine Fortpflanzung der Wärme stattgefunden habe, weil keine Platzveränderung der Flüssigkeit vorhanden war. Es wäre indessen möglich gewesen, daß die Erscheinung von der Fortpflanzung der strahlenden Wärme herrührte, die von der Quelle ausströmte. Dem sei nun wie ihm wolle, diese Mittheilung der Wärme von oben nach unten ist sehr schwach; andere Versuche gehen auch dahin, die Molekularfortpflanzung annehmen zu lassen. Die Frage blieb da stehen, als sie Despretz im Jahre 1839 wieder aufnahm und durch Versuche folgende

Thatsachen erwies: 1) ein liquider Cylinder von einem Meter Höhe, und 0,218 Meter im Durchmesser, der an seinem oberen Theile von einer constanten Wärmequelle eine hinreichend lange Zeit erwärmt wird, zeigt einen constanten thermometrischen Zustand; 2) die Temperaturen der Punkte, welche von der Achse gleichweit abstehen und von denen die Temperatur der umgebenden Luft abgezogen ist, geben eine abnehmende geometrische Progression, wie dies bei einer festen, gehörig langen Stange der Fall gewesen wäre; 3) zwei Cylinder von verschiedenem Diameter leiten auf folgendes Resultat:

Die Logarithmen der Quotienten der beiden geometrischen Progressionen stehen im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln der Durchmesser. So wie diese Resultate bekannt gemacht wurden, machte man Despretz den Einwurf, daß diese Erscheinungen von der Wirkung der Wände herrühren; er stellte alsdann neue Versuche an und zeigte, daß die Wände kälter, als die Flüssigkeit, seien, und überdies, daß, da die Temperatur vom Mittelpunkte gegen die Peripherie hin abnehme, die Wärme von der Flüssigkeit durch die Wände entweiche und nicht von den Wänden auf die Flüssigkeit übergehe.

Die strahlende Wärme geht durch die Gase, wie durch die liquiden Körper durch das Verrücken der Theile, die, wenn sie warm werden, in den obern Theil aufsteigen, und sich mit denen vermischen, welche sie antreffen. Diese Platzveränderungen gehen um so schneller vor sich, je geringere Dichtheit die Gase besitzen; was die Molekularausstrahlung anbetrifft, so ist sie außerordentlich schwach.

Von den Gesetzen der Erwärmung und des Erkaltens der Körper.

Wenn ein erwärmter Körper in irgend ein Me-

dium gebracht wird, dessen Temperatur geringer als die seinige ist, so kühlt er sich nach verschiedenen Umständen, die wir sogleich angeben werden, in einer längeren oder kürzeren Zeit ab. Denken wir ihn uns zuerst im leeren Raume, so rührt die Abkühlung einzig und allein von dem Ausstrahlen her; befindet er sich in der Luft oder in einem Gase, so kühlt er sich nicht bloß, wie in dem leeren Raume, ab, sondern auch noch wegen seines Contaktes mit den umgebenden Gasen, welche ihm nach und nach die Wärme entziehen.

Die Abkühlungsgesetze der Körper sind der Gegenstand der Forschung einer großen Anzahl von Physikern gewesen; Newton hat sich zuerst damit beschäftigt. Er hatte als Grundsatz aufgestellt, daß in jedem Augenblicke die Menge der von einem Körper verlornen Wärme dem Ueberschusse der Temperatur dieses Körpers über die des umgebenden Mittels proportional sei; dieses Gesetz bestätigt sich aber nur bei Temperaturverschiedenheiten, die nicht nicht über 20° bis 30° gehen: als Richmann die Ungenauigkeit desselben gezeigt hatte, so stellte er ein anderes auf, nach welchem die Temperatur schneller abnahm als nach dem Newton'schen Gesetze.

Dalton stellte Versuche an, die das Richmann'sche Gesetz bestätigen sollten; de la Roche erhob es zum Grundsatze, daß der Verlust der Wärme sich nach einer schnelleren Progression richte, als nach dem Ueberschusse der Temperatur des Körpers über die des umgebenden Mittels: endlich gaben im Jahre 1817 Petit und Dulong ein vollständiges Werk über die Gesetze der Abkühlung der liquiden Körper in dem leeren Raume und in den Gasen heraus; diese Gesetze haben auf nachfolgende Folgerungen geleitet: die Natur der Oberfläche hat keinen Einfluß auf die Wärmeverluste, welche von dem Contakte der Gase allein herrühren. Bei einem und demselben Gase sind

unter demselben Drucke aber bei verschiedenen Temperaturen die Wärmeverluste bei den nämlichen Temperaturverschiedenheiten dieselben.

Wenn die Elasticität des Gases sich in einer geometrischen Progression verändert, so verändert sich auch die Geschwindigkeit des Abkühlens in einer geometrischen Progression; ist das Verhältniß der Progression 2, so ist das zweite 1,366 für die Luft, 1,301 für den Wasserstoff, 1,431 für die Kohlensäure, 1,415 für das ölerzeugende Gas.

Diese Gesetze werden nur auf feste Körper von kleiner Dimension angewandt; so verhält es sich aber nicht bei den liquiden Körpern, weil die Temperatur derselben so angesehen werden kann, als sei sie in allen Punkten in jedem Augenblicke wegen der untern Bewegungen, die von der Mischung der Theile herrühren, welche nicht die nämliche Temperatur besitzen, die nämliche, was bei den festen Körpern mit großen Dimensionen nicht der Fall sein kann. In diesem Falle hängt die Temperaturveränderung von verschiedenen Ursachen, unter andern von der Leitungsfähigkeit ab.

Von der Ausdehnung der Körper; von den Thermometern.

Jedesmal wenn ein Körper Wärme erhält oder verliert, so vergrößert oder verkleinert sich sein Volumen; einige Körper machen jedoch eine Ausnahme hievon, wenn sie ihren Zustand verändern, dahin gehören das Wasser, das Gußeisen, das Eisen und der Wismuth.

Die Ausdehnung fester Körper, deren Wirkungen die Künste so stark angehen, ist von Laplace, Lavoisier, Ramsden, Roy, Petit und Dulong sorgfältig untersucht worden. Die beiden Ersteren hatten behauptet, daß sich die Körper von 0° bis 100° gleichförmig

ausdehnen. Petit und Dulong, welche mehr Genauigkeit in ihre Versuche brachten, haben gefunden, daß bei einem und demselben Grade die Ausdehnung mit der Temperatur wachse, daß aber von 0° bis 100° dieses Wachsen unwahrnehmbar sei, und daß es von 0° bis 300° beträchtlich werde. Man erwägt drei Arten von Ausdehnungen: Ausdehnung in die Länge, oder Längenausdehnung, Flächenausdehnung und Körperausdehnung. Die Flächenausdehnung ist das Doppelte der ersten und die Körperausdehnung ist das Dreifache davon.

Die liquiden Körper dehnen sich durch die Einwirkung der Wärme wie die festen Körper aus und ziehen sich zusammen; auf diese Eigenschaft gründen sich die Thermometer, Werkzeuge, die dazu bestimmt sind, die verschiedenen Mengen wahrnehmbarer Wärme, welche die Körper besitzen, zu vergleichen.

Galilei scheint zuerst den Gedanken von diesem Instrumente gehabt zu haben; man findet in dieser Beziehung folgende Stelle in der Geschichte der mathematischen Wissenschaften in Italien von Libri:

„Der Thermometer des Galilei bestand aus einer „gläsernen Röhre mit einem kleinen Durchmesser, „die an einem Ende offen war und sich am andern „Ende in eine Kugel endigte. Nachdem man ein „wenig Wasser in dieselbe gethan hatte, so brachte „man das Ende der Röhre in eine senkrechte Stel„lung; der Druck der Luft hielt die Flüssigkeit in „der Röhre zurück und der Thermometer war fertig."

Wenn man einen erwärmten Körper an die Kugel des Instrumentes brachte, so dehnte sich die Luft aus und erwärmte die Flüssigkeit, die sich in dem oberen Theile befand, welche alsdann in die Röhre herab und durch das Abkühlen wieder hinaufstieg. Dieses Instrument, das wirklich nur ein Thermoskop war, wurde von Galilei im Jahre 1597 verfertigt. Dieser

große Physiker machte seine Wirkungen dem P. Castelli im Jahre 1603 bekannt. Sagredo, ein Freund des Galilei stellte im Jahre 1613 zu Venedig meterologische Beobachtungen mit diesem Instrumente an. Wie dem nun auch sei, so schrieb man die Erfindung des Thermometers dem Baco, Fludd, Drebbel, Sanctorius, Sarpi zu. Wenn man aber die Data vergleicht, auf welche sich die Erfindung bezieht, welche von jedem der Prätendenten gemacht wurde, so findet man, daß sie alle später als das Jahr 1597 sind. Wir wollen jetzt zu den Vervollkommnungen übergehen, welche dieses Instrument nach und nach erhalten hat.

Drebbel bediente sich, wie man sagt, der Ausdehnung der Luft zu Messung der Temperaturveränderungen: die Akademiker von Florenz nahmen Alkohol anstatt der Luft, damit die Angaben des Instruments nicht mehr unter dem Einflusse des atmosphärischen Druckes stehen und gaben ihm die bekannte Gestalt. Bayle brachte den Behälter in den unteren Theil, um das Instrument in eine Flüssigkeit tauchen zu zu können. Zum festen Temperaturpunkt nahm er das Flüssigwerden des Anisöles; Halley und Amontons die Temperatur des siedenden Wassers an; Newton nahm anstatt des Alkohols Leinöl, und zu festen Punkten bestimmte er das schmelzende Eis und das Kochen des Wassers. Römer nahm Quecksilber statt des Alkohols und nahm die Skale an, die unter dem Namen der Fahrenheit'schen bekannt ist. Zum Nullpunkte wählte er die stärkste Kälte Islands und nahm die nämlichen festen Punkte mit Newton an. Dieser Thermometer war in 212 Theile getheilt; der Punkt des schmelzenden Eises entsprach dem 32. Grade dieser Eintheilung. Reaumur theilte den Zwischenraum zwischen den beiden festen Punkten in 80 Theile ein, und seit der Annahme des Dezimalsystems hat man die Eintheilung in 100 Theile angenommen.

Fahrenheit fand, daß die Gränze des kochenden Wassers mit dem Drucke der Luft verschieden sei.

Als Petit und Dulong den Gang des Quecksilberthermometers mit dem des Luftthermometers verglichen, so erhielten sie folgende Resultate:

Gewöhnlicher Quecksilber-Thermometer	Luftthermometer mit der Correktion des ausgedehnten Glases	Differenz
100°	100° . . .	0
150°	148,70 . . .	1,30
200°	197,05 . . .	2,95
250°	245,05 . . .	4,95
300°	292,70 . . .	7,30
360° Kochen des Quecksilbers	350 . . .	10,00

Ganz neue Versuche, die von Regnault angestellt wurden, haben sehr verschiedene Resultate gegeben. Diesem Physiker zufolge stimmen der Quecksilber- und der Luftthermometer beinahe ganz genau zwischen Null und 100° mit einander überein, wie dies Gay-Lussac gefunden hat. Die beiden Thermometer gehen noch ziemlich übereinstimmend von 100° bis zu 250°; erst von diesem Punkte aus gewinnt der Quecksilberthermometer einen Vorsprung vor dem andern. Bei 300 Graden beträgt die Differenz ungefähr 1 Grad; bei 325° 1°,75, bei 350° 3°. Wie darf man nun annehmen, daß Petit und Dulong, die so genau, so pünktlich in ihren Versuchen waren, Ursachen zu Irrthümern nicht in Anschlag gebracht haben, die so auffallende Verschiedenheiten mit denen herbeiführten, welche zwischen ihren Resultaten und den soeben angeführten stattfinden?

Regnault hat wichtige Thatsachen nachgewiesen, deren Anführung wir hier nicht weglassen können. Zwei Quecksilberthermometer, die mit dem Null- und dem Siedpunkte übereinstimmten, stimmen nicht in allen Punkten der Skale überein, wie man glaubte.

Diese Differenzen betreffen bisweilen mehrere Grade, wenn die beiden Thermometer nicht aus der nämlichen Glasart verfertigt wurden. Daraus geht hervor, daß die Quecksilberthermometer, die zu genauen und Vergleichungsversuchen bestimmt sind, nicht bloß in Beziehung auf die festen Punkte der Skale, sondern auch in hohen Temperaturen verglichen werden müssen.

Wir wollen zu andern Thermometern übergehen.

Da sich nicht alle Körper dem nämlichen Ausdehnungsgesetze unterwerfen, so folgt daraus, daß Thermometer, welche aus verschiedenen Substanzen verfertigt sind, nicht die nämliche Temperatur anzeigen können, wenn sie in die nämlichen Wärme erregenden Umstände versetzt sind, wie dies übrigens die folgende Tabelle anzeigt.

Temperaturen, die unter den nämlichen Umständen von verschiedenen Thermometern angezeigt werden, wenn ein Grad ein Hundertel von der totalen Ausdehnung von dem schmelzenden Eise bis zum Sieden beträgt.

Luftthermometer	300°
Glasthermometer	352,9
Eisenthermometer	372,6
Kupferthermometer	329
Platinthermometer	311,6
Quecksilberthermometer mit Correktion der Ausdehnung des Glases	314,15
Gewöhnlicher Quecksilberthermometer . .	307,8

Was den Weingeistthermometer anbetrifft, so ist sein Gang von dem des Quecksilberthermometers verschieden, da die Ausdehnung dieses letzteren Metalles sich nicht nach dem nämlichen Gesetze, wie die des Alkohols richtet. Man benützt gewöhnlich dieses Instrument zur Bestimmung sehr niedriger Temperaturen, welche der Quecksilberthermometer nicht mehr anzeigen

kann, wenn man zu dem Gefrierpunkte des Quecksilbers gelangt.

Die Luftthermometer dienen nur dann zu genauen Versuchen, wenn man sehr hohe und sehr niedere Temperaturen, besonders gegen — 40° und darunter zu messen hat, weil das Quecksilberthermometer nur bei Temperaturen gebraucht werden kann, die sich in der Nähe des Gefrierpunktes des Quecksilbers befinden, und weil man überdies das Ausdehnungsgesetz des Weingeistes nach diesem Punkte nicht kennt.

Wir enthalten uns hier, alles das anzuführen, was die Verfertigung der Thermometer anbetrifft, da es in dieser Einleitung keinen Platz finden kann, welche nur die allgemeinen Gesetze und die hauptsächlichsten Thatsachen enthalten soll, die zur Einführung dieser Instrumente gedient haben.

Die Null der Thermometerskale, welche den Grad des schmelzenden Eises anzeigt, ist nicht fest. Flaugergue hat im Jahr 1823 gefunden, daß sie sich mit der Zeit verrücke und um einen Bruch von einem Grade höher stehe. Bellani, welcher den Gang dieser Erscheinung untersuchte, fand, daß diese Verrückung ungefähr zwei Jahre lang zunehme und sodann aufhöre. Man kann diese Wirkung nur der Langsamkeit der Moleküle der erwärmten Glasröhre, in Annahme ihrer Gleichgewichtslage zuschreiben. Als Legrand diese Erscheinung aufs Neue untersuchte, so wurde er auf mehrere interessante Thatsachen geleitet, die wir hier nicht anführen können, aus welchen aber erhellt, daß die Verrückung der Null bei den gewöhnlichen Temperaturen mit dem Krystalle nicht stattfindet, daß sie gleichfalls vorkommt, wenn der Thermometer offen ist und daß sie dem Schwinden des Glases zugeschrieben werden müsse, wenn ein plötzliches Abkühlen der Röhre stattgefunden hat. Demzufolge müßte man die Behälter aus Krystall machen und jedesmal, wenn man hohe Temperaturen beobachtet, bei jeder Ope=

ration darauf Acht haben, die Null der Skale zu prüfen. Als Despretz gleichfalls diese Frage sorgfältig untersuchte, so fand er, daß die Null des Thermometers in dem Verlaufe der Versuche selber Schwingungen erleide. Wird dieses Instrument in einer niedern Temperatur, wie — 20°, eine gewisse Zeit lang erhalten, so steigt die Null; wird hingegen das Instrument in einer hohen Temperatur erhalten, so sinkt die Null. In beiden Fällen kehrt die Null nicht unmittelbar an den ursprünglichen Punkt zurück, obgleich der Thermometer in Eis auf Nullgrad gehalten wird. Despretz hat aus dieser letzteren und anderen ähnlichen Thatsachen die Folgerung abgeleitet, daß jedesmal, wenn die Mölekküle eines festen Körpers durch irgend eine Kraft verrückt worden sind, diese nicht unmittelbar ihre Lage wieder einnehmen, wenn diese Kraft zu wirken aufhörte.

Außer den so eben angeführten Thermometern gebraucht man auch Thermoskope, Differenzialthermometer, welche dazu dieneu, schwache Temperaturveränderungen anzuzeigen. Das Rumfort'sche Thermoskop besteht aus einer Haarröhre, deren beide senkrecht gekrümmte Ende sich in zwei verschlossene Kugeln von gleicher Dimension endigen und mit Luft angefüllt sind; eine kleine Quecksilbersäule wird in die horizontale Röhre gebracht; der Apparat wird so gestellt, daß sich die Quecksilbersäule, welche zum Zeiger dient, in der Mitte befindet; wenn die beiden Kugeln gleiche Temperatur besitzen, so dehnt sich gleich im Augenblicke, wo eine von den Kugeln mehr Wärme als die andere erhält, die in ihr enthaltene Luft aus und der Zeiger wird in die andere Kugel getrieben. Man theilt die Thermoskope in Grade ein und nimmt zum Ausgangspunkt den Punkt an, wo sich der Zeiger befindet, wenn die beiden Kugeln eine gleiche Temperatur haben: und taucht eine von den Kugeln in Wasser, dessen Temperatur so wie die der Luft be-

kannt ist; man bemerkt die Punkte, wo der Zeiger stehen bleibt und theilt den Zwischenraum zwischen den beiden Punkten in gleiche Theile ein; jede Eintheilung drückt eine Funktion der Differenz zwischen der Temperatur des Wassers und der der Luft aus.

Leslie, welcher zu gleicher Zeit mit Rumfort auch ein Thermoskop erfand, dem er den Namen Differenzialthermometer gab, überzog eine von den Kugeln mit einer Gold- oder Silberschichte, damit die Wärmestrahlen, welche auf dieselbe fallen könnten, reflektirt würden. Dieser Apparat kann dazu dienen, genaue Maße zu erhalten.

Die Metallthermometer werden nicht häufig gebracht; ihre Form ist sehr mannigfaltig; das allgemeine Princip beruht auf der Verlängerung eines Metallstreifens, der an einem seiner Endpunkte an einem Körper befestigt ist, dessen Ausdehnung weit geringer als die seinige ist, und dessen anderes Ende auf einem Systeme von Streifen ruht, die in dem Verhältnisse, als sich der Streifen ladet, den Zeiger eines Zifferblattes in Bewegung setzen, dessen Eintheilungen in Funktionen der Grade eines gewöhnlichen Thermometers ausgedrückt sind. Breguet verdankt man einen Metallthermometer von sehr großer Empfindlichkeit; er besteht aus drei Metallstreifen von ungleicher Ausdehnbarkeit (Gold, Silber, Platin), die auf eine unveränderliche Weise unter sich verbunden sind und eine cylindrische Schraubenlinie bilden; die Streifen sind so angebracht, daß derjenige, welcher sich am wenigsten ausdehnt, in der Concavität der Krümmung liegt. Das eine Ende dieser Schraubenlinie ist fest gemacht, und das andere mit einer Nadel versehen, welche durch ihre Bewegungen anzeigt, um wieviel sich das System in Folge der Temperaturveränderungen und der Ungleichheit der Ausdehnung des Platins und des Silbers zusammen- oder aufgedreht hat. Diese Streifen sind durch einen

starken Druck miteinander vereinigt; doch hätte Breguet die Goldstreifen weglassen können. Der Versuch beweist, daß die von der Nadel beschriebenen Bögen den Temperaturwechseln proportional sind; nichts ist einfacher, als den Gang dieses Thermometers mit dem des gewöhnlichen Thermometers zu vergleichen. Borda wandte bei Messung eines Bogens des Meridians in Frankreich einen sehr einfachen Metallthermometer an, dessen Beschreibung man in dem Traité de Physique de M. Péclet T. I. pag. 541 finden kann.

Um in Künsten und Gewerben die Temperatur der Oefen zu bestimmen, bedient man sich der Pyrometer, welche metallisch oder nichtmetallisch sind. Der einfachste Metallpyrometer besteht aus einer gebrannten Thonmasse, welche eine Rinne hat, in welche eine Metallstange paßt, die an einem Ende festgemacht ist, und deren anderes Ende sich an einen kleinen Hebel anlehnt, der sich um einen festen Punkt bewegt und dessen Ende sogleich ein eingetheiltes Zifferblatt durchläuft, wenn sich der Streifen, dessen Ende in dem Heerde der Wärme liegt, ausdehnt, und da sich die Thonmasse weit weniger als das Metall ausdehnt, so rühren die erhaltenen Erscheinungen fast ganz von der Ausdehnung des Metalles her.

Unter den nichtmetallischen Pyrometern führen wir den des Wedgwood an, der auch in den meisten Fällen angewandt wird. Seine Anwendung beruht auf der Eigenschaft des Thons, ein Schwinden zu erleiden, wenn er erhitzt worden ist, ein Schwinden, das um so größer ist, je höher die Temperatur steigt; man kennt aber das Gesetz dieses Schwindens nicht. Dieser Pyrometer besteht aus einer Kupferplatte, auf welcher drei Stangen von demselben Metalle befestigt sind, die eine solche Neigung untereinander haben, daß der Zwischenraum von zweien dieser Streifen dem gleich ist, welchen die Verlängerung von einem derselben mit dem dritten bilden würde, eine von

diesen Stangen hat eine Skale, die in 240° eingetheilt ist. Diese Zwischenräume sind dazu bestimmt, kleine abgekürzte Kegel aus Thon, der in der Rothglühhitze gebrannt worden ist und mit dem Nullpunkte der Eintheilung zusammenfällt, aufzunehmen. Will man nun operiren, so legt man mehrere dieser kleinen Kegel in den Brennpunkt des Feuers und beurtheilt das Schwinden dadurch, daß man sie in jene Zwischenräume bringt. Alle Kegel müssen aus einem gleichartigen Thone verfertigt werden. Auf diese Weise kann man nur Annäherungswerthe erhalten, denn man weiß nicht, ob das Schwinden mit der Temperatur proportional sei. Der Nullpunkt des Pyrometers entspricht 580°,55 des hundertgradigen Thermometers.

Es gibt noch andere Thermometer, die in verschiedenen Fällen angewandt werden; wir meinen die Maximumthermometer; ihre Anwendung würde es nothwendig machen, daß wir uns auf Einzelnheiten ihrer Verfertigung einlassen, die wir hier nicht angeben können. In dieser Hinsicht verweisen wir auf physikalische Werke. Wir beschränken uns hier bloß darauf, anzugeben, daß diese Thermometer dazu dienen, das Maximum oder Minimum der Wärme bei den Temperaturveränderungen anzuzeigen, welche eine gewisse Zeit lang stattfinden.

Wir wollen zur Ausdehnung der Gase übergehen. Gay-Lussac und Dalton hatten fast zu gleicher Zeit und ohne sich ihre Arbeiten mitzutheilen, behauptet, daß sich alle Gase bei der nämlichen Temperatur von 0° bis 100° gleich ausdehnen. Dem Ersteren zufolge war die entsprechende Ausdehnung bei 1° des hundertgradigen Thermometers $^1/_{267}$ ihres Volumens bei Null; das nämliche Resultat erhielten Petit und Dulong: diesen Ausdehnungscoefficienten hielt Rudberg für unrichtig, er fand nämlich 0,00365 anstatt 0,00375. Magnus und Regnault nahmen diese Frage wieder

auf, vermieden aber die Ursache zu Irrthümern, die von mehreren ihrer Vorgänger übersehen wurden, und erhielten 0,00366. Vermittelst dieser neuen Bestimmung wäre der alte Ausdehnungscoefficient um $\frac{1}{37}$ zu stark. Regnault, welcher meinte, daß man nun es nicht mehr als erwiesen ansehen dürfe, daß alle Gase den gleichen Ausdehnungscoefficienten haben, stellte demnach neue Versuche an, um den Ausdehnungscoefficienten des Stickstoffes, des Wasserstoffs, des Kohlenstoffoxyds, der Kohlen- und schwefligen Säuren, des Cyans, des Stickstoffoxyduls, der Salzsäure und des Ammoniaks zu finden; er fand, daß der Stickstoff, der Wasserstoff, das Kohlenstoffoxyd merklich den nämlichen Ausdehnungscoefficienten, wie die Luft, unter den Umständen hatten, wo die Versuche angestellt worden waren, d. h. die Gase waren unter dem atmosphärischen Drucke, als sie sich in der Temperatur des siedenden Wassers befanden und unter einem Drucke von 550 Millimetern, als sie sich bei der Temperatur des schmelzenden Eises befanden; daß unter denselben Umständen die Kohlensäure, das Stickstoffoxydul, das Cyan dagegen einen stärkern Ausdehnungscoefficienten haben, indem der erstere 0,003689, der zweite 0,003676, der dritte 0,00368 gleich ist; daß der Coefficient des schwefligsauren Gases stärker ist, als die, welche man für die ersteren Gase erhalten hatte. Regnault's Versuche zwecken also dahin ab, festzusetzen, daß die Gase unter gleichen Umständen nicht den nämlichen Ausdehnungscoefficienten haben, indem dieser Coefficient unter den oben erwähnten Umständen von 0,003665 bis 0,003685 verschieden ist.

Da die Versuche zwischen den festen Punkten des Thermometers und unter einem Drucke angestellt wurden, der von dem atmosphärischen Drucke nur sehr wenig verschieden war, so hat sie Regnault unter sehr verschiedenen Drucken wieder angefangen, die

anfangs schwächer waren, als der gewöhnliche atmosphärische Druck, sodann aber unter einem weit stärkerern Drucke; die Schlüsse, auf die er geleitet wurde, sind folgende: das von den Physikern angenommene Gesetz, daß sich nämlich die Luft um denselben Bruch seines Volumens bei 0° ausdehne, ihre Dichtheit mag übrigens sein, welche sie will, ist nicht richtig. Die Luft dehnt sich zwischen den nämlichen Temperaturgränzen um Größen aus, die um so beträchtlicher sind, je größer die Dichtheit ist.

Diese Versuche bestätigen die Grundgesetze nicht, welche von allen Physikern angenommen wurden, nämlich:

1) Alle Gase dehnen sich zwischen den nämlichen Temperaturgränzen um die nämliche Größe aus.

2) Die Ausdehnung eines und desselben Gases zwischen den nämlichen Zeitgränzen ist von der uranfänglichen Dichtheit unabhängig.

Regnault meint demungeachtet nicht, daß diese Gesetze aus der Physik verbannt werden sollen; ihm zufolge sind sie an der Gränze wahr, d. h. wenn man die Gase in ihrem größten Ausdehnungszustande nimmt und wenn ihr gasartiger Zustand vollkommen ist.

Wärmecapazitäten oder specifische Wärme.

Zwei beliebige Körper erfordern nicht die nämliche Menge von Wärme, um auf die nämliche Temperatur gebracht zu werden; das Verhältniß der Wärmemengen, welche in diesem Falle angewandt werden, hat die Physiker beschäftigt und beschäftigt sie noch. Blake beobachtete zuerst, daß, wenn die Wärme einen Körper flüssig macht, oder sie einen flüssigen Körper in ein Gas verwandelt, der flüssige Körper oder der Dampf nicht heißer waren, als die Flüssigkeit oder der feste Körper, welcher sie hervor-

gebracht hatte, obgleich eine große Wärmemenge verbraucht wurde, um eine solche Wirkung hervorzubringen. Er schloß daraus, daß die verbrauchte Wärme latent geworden sei und zu Erhaltung des neuen Zustandes diene: er bewies auch wirklich, daß diese Wärme wieder frei werde, wenn sich der Dampf verdichtete oder der liquide Körper wieder fest wurde. Kurze Zeit darauf beschäftigte man sich mit der specifischen Wärme der Körper, d. h. mit den Wärmemengen, die erforderlich sind, um ihre Temperatur um eine und dieselbe Anzahl von Graden zu erhöhen; diese Eigenschaft veranlaßte einige Philosophen in Uebereinstimmung mit den Ansichten Newton's zu der Behauptung, daß die Wärme, so wie das Licht eine materielle Substanz sei. Unter den Physikern, die sich mit dieser Frage beschäftigten, müß man Wilke, Crawford, Gadolin, Meyer, Dalton, Lavoisier und Laplace, Dulong und Petit, de la Roche und Berard, Neumann, Avogadro, Marcet, de la Rive und endlich Regnault nennen.

Man wandte drei Methoden an, um die specifische Wärme der Körper zu finden: die Methode der Mischungen, die des Schmelzens des Eises oder des Kalorimeters und endlich die des Abkühlens, welche von Meyer herrührt. Die ersten Versuche, welche mit der größten Genauigkeit angestellt wurden, machten Petit und Dulong, die sich der Abkühlung bedienten. Lavoisier und Laplace erhielten durch die Methode des Schmelzen des Eises Resultate, die sich nur wenig von der Wahrheit entfernen. Vermittelst der Methode der Mischungen zwischen Temperaturgränzen von 0° bis 350° fanden Petit und Dulong die wichtige Thatsache, daß die Wärmecapazität der Körper, so wie die Ausdehnbarkeit mit der Temperatur zunehme. Durch Meyers Verfahren bestimmten sie die specifische Wärme einer gewissen Anzahl einfacher Körper dadurch, daß sie jene mit den Atom-

gewichten verglichen und stellten das merkwürdige Gesetz auf, daß alle Atome der einfachen Körper ganz genau die nämliche Wärmecapazität besitzen; zu der Zeit aber, wo dieses Gesetz erschien, waren die Atomgewichte der Körper noch nicht genau bestimmt; man hatte unter mehreren Zahlen zu wählen und Dulong und Petit glaubten, gerade die Atomgewichte wählen zu müssen, die für das Gesetz, das sie geltend machen wollten, am besten paßten. So verhält es sich aber heutzutage wegen der Fortschritte der Chemie nicht mehr; auch bestätigt sich das angegebene Gesetz bei weitem auf keine so befriedigende Weise; denn das Produkt der specifischen Wärme mit dem Atomgewichte ist, anstatt eine constante Größe zu sein, von 36,75 auf 38,30 und von 25,53 auf 75,18 verschieden. Es wurde nun äußerst wichtig, neue Versuche anzustellen, um zu sehen, innerhalb welcher Gränzen Petit's und Dulong's Gesetz angenommen werden müsse. Diese Arbeit hat Regnault nicht bloß in Beziehung auf die einfachen, sondern auch auf die zusammengesetzten Körper ausgeführt, indem er die Mischungsmethode anwandte und die der Abkühlung, als auf Hypothesen gegründet, die nicht bestätigt werden können, verwarf; die von ihm erhaltenen Resultate sind im Allgemeinen etwas stärker als die des Petit und Dulong. Wenn man einen Blick auf die Tabelle wirft, welche sie enthält, so sieht man sogleich, daß sich das Gesetz der specifischen Wärme der Atome auf keine unbedingte Weise bestätige; demungeachtet nimmt es Regnault an, als komme es der Wahrheit sehr nahe, in Erwägung, daß die Atomgewichte der einfachen Substanzen, mit welchen man operirt hat, von 200 bis 1400 verschieden seien, während die Produkte der Atomgewichte mit den specifischen Wärmen zwischen 38 und 42, einer sehr engen Gränze liegen. Die Forschungen über die specifische Wärme der zusam-

mengesetzten, festen und liquiden Körper haben ihn auf vollkommen ähnliche Resultate geführt, welche folgendermaßen ausgedrückt werden können:

1) Bei den zusammengesetzten Körpern, welche das nämliche elektronegative Element enthalten und die von ähnlicher atomistischer Constitution sind, stehen die specifischen Wärmen im umgekehrten Verhältnisse mit den Atomgewichten.

2) Bei allen zusammengesetzten Körpern von gleicher atomistischer und ähnlicher chemischer Zusammensetzung stehen die specifischen Wärmen im umgekehrten Verhältnisse mit den Atomgewichten. Diese Gesetze stimmen nicht vollkommen mit dem Resultate des Versuchs überein; aber die Divergenzen sind nicht größer als die, welche sich bei dem Gesetze der einfachen Körper zeigen, weil sie nicht über das Zehntel zum Neuntel hinausgehen.

Die Forschungen in Beziehung auf die Bestimmung der specifischen Wärme der Gase zeigen mehr Schwierigkeiten als die, welche die festen und liquiden Körper betreffen, weil auf der einen Seite diese Wärme immer sehr schwach ist und man sie auf der andern Seite aus zwei Gesichtspunkten betrachten kann: 1) wenn der Druck constant ist und sich das Gas beim Erwärmen ausdehnen kann; 2) wenn das Volumen constant bleibt und die elastische Kraft mit der Wärme zunimmt.

Crawford, Laplace, Lavoisier, Leslie und Gay-Lussac haben verschiedene Methoden angewandt, um die specifische Wärme der Gase in dem ersten Falle zu finden; da aber die Versuche nicht mit dem gehörigen Grade von Genauigkeit angestellt worden waren, so glaubte die Akademie der Wissenschaften einen Preis auf diese Frage setzen zu müssen, welchen de la Roche und Berard im Jahre 1813 erhielten. Aus

den Versuchen derselben erhellt, daß die Wärmecapacitäten der einfachen Gase bei constantem Drucke und gleichem Volumen die nämlichen seien. Davon ging man aus, um den Schluß zu machen, daß die Atome der einfachen Gase unter denselben Umständen die nämliche Capacität haben müssen, weil die Gase bei gleicher Temperatur und unter demselben Drucke, bei demselben Volumen wahrscheinlich die nämliche Anzahl von Atomen enthalten?

De la Rive und Marcet verdankt man die Bestimmung der specifischen Wärme der Gase bei constantem Volumen, indem sie die Zeit der Abkühlung oder der Erwärmung eines und desselben Volumen Gases maßen, das sich in der nämlichen Hülle und unter den nämlichen Umständen befand; man fand aber dieses Verfahren nicht genau genug, um sich auf die erhaltenen Resultate vollständig verlassen zu können.

Dulong bestimmte vermittelst einer Methode, die sich auf die Theorie des Schalles gründete, das Verhältniß der Wärmecapacitäten; dieses Verhältniß gehört wirklich zu der Formel, welche die Geschwindigkeit des Schalls in einem Gase gibt. Nun konnte er, als er das Verhältniß der Geschwindigkeiten fand, die Verhältnisse der specifischen Wärme berechnen; da die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft der theoretischen Geschwindigkeit multiplicirt mit der Quadratwurzel des Verhältnisses der Capacität der Luft bei constantem Drucke der Capacität bei constantem Volumen gleich war, so konnte man leicht das Verhältniß daraus ableiten. Auf diese Weise fand Dulong, daß das Verhältniß der Capacitäten in Beziehung auf die Luft 1,421, auf den Sauerstoff 1,415, auf den Wasserstoff 1,407, auf das kohlensaure Gas 1,338, auf das Kohlenoxyd 1,427, auf das Stickstoffoxyd 1,346 und auf das ölbildende Gas 1,240 sei. Man hat seitdem gefunden, daß man, da die

Capacitäten bei constantem Drucke bekannt waren, zu denen mit constantem Volumen übergehen könne, indem man das Verhältniß der beiden Capacitäten bestimme. Dies ist vermittelst zweier verschiedenen Methoden bewerkstelligt worden; die erste rührt von Clement und Desormes, die zweite von Dulong her. Die Ersteren haben das fragliche Verhältniß vermittelst der durch eine schwache Zusammendrückung entwickelten Wärme bestimmt und haben für das Verhältniß der Wärmecapacitäten der Luft bei constantem Druck und Volumen 1,35 gefunden; Gay-Lussac und Walter erhielten vermittelst derselben Methoden 1,37244. Diese Werthe weichen von dem eigentlichen ab, der 1,42 ist; daher ist auch diese Methode keiner hinreichenden Genauigkeit fähig.

Mehrere Fragen knüpfen sich an die specifische Wärme der Gase, nämlich die durch ihre Zusammenpressung entwickelte Wärme und die Verschiedenheiten ihrer Wärmecapacitäten. Im ersten Falle fand man, daß alle Volumen von gleichem elastischem Fluidum, welche bei derselben Temperatur und unter demselben Drucke genommen wurden, die nämliche absolute Wärmemenge entwickeln oder absorbiren; im zweiten Falle, daß die Temperaturverschiedenheiten, welche daraus entspringen, bei constantem Volumen im umgekehrten Verhältnisse ihrer Wärmecapacitäten stehen; dieses letzte Gesetz rührt von Dulong her.

Gay-Lussac, der sich mit den Verschiedenheiten der Wärmecapacitäten der Gase beschäftigte, hat gefunden, daß sich das Verhältniß der Wärmecapacität bei constantem Drucke zu der Capacität des nämlichen Gases bei constantem Volumen mit dem Drucke und der Temperatur nicht verändere; er stützte sich zum Beweise dieses Gesetzes auf die Thatsache, daß die Geschwindigkeit des Schalles zu Quito unter einem Drucke von 0,554^{m} die nämliche mit der ist, welche aus den Versuchen hervorgeht, die zu Paris unter einem Drucke

von 0,76^{m} angestellt wurden. De la Roche und Berard sind die einzigen Physiker, welche Versuche in Beziehung auf den Einfluß des Druckes auf die Wärmecapacität anstellten. Diese Versuche zeigten, daß diese Capacität mit dem Drucke in einem schwächeren Verhältnisse als die Dichtheiten zunehme.

In Beziehung auf den Einfluß der Wärme bemerkte Gay-Lussac, daß er mit der Temperatur zunehme; nie ist das Gesetz dieser Zunahme bestimmt worden.

Von den Dämpfen.

Es gibt eine Klasse von Körpern, von denen wir noch nicht gesprochen haben und deren Wärme erregenden Eigenschaften, wegen ihrer Anwendung auf die Künste, zu untersuchen von großer Wichtigkeit ist: dies sind die Dämpfe.

Wenn eine Flüssigkeit entweder im leeren Raume, oder in der Luft, oder in irgend einem Gase sich selbst überlassen ist, so zerstreut sie sich in längerer oder kürzerer Zeit in Gestalt von Dämpfen. Einige Körper, wie die fetten Oele, besitzen diese Eigenschaft nicht; andere, wie die Schwefelsäure, verlangen eine höhere Temperatur; bei der gewöhnlichen Temperatur läßt das Quecksilber Dämpfe entweichen.

Wenn man die Bildung der Dämpfe im leeren Raume beobachtet, wie dies Dalton that, so findet man, daß die Flüssigkeit augenblicklich allen Dampf, den sie bei der Temperatur, unter welcher man beobachtet, bilden kann, von sich gibt; daß die elastische Kraft dieses Dampfes von dem Raume, der ihn enthält, unabhängig ist; daß der Dampf bei einem Ueberschusse von Flüssigkeit durch den Druck weder an Dichtheit noch an elastischer Kraft zunehme; daß, wenn nicht Flüssigkeit genug da ist, damit der Dampf den ganzen Raum sättige, dieser sich wie ein Gas ausdehne.

Die elastische Kraft des Dampfes wächst schneller als die des permanenten Gases. Zahlreiche Versuche sind zur Bestimmung der Spannkraft des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen angestellt worden. Gay-Lussac hat gefunden, daß die Spannkraft des Dampfes von dem Eise die nämliche wie die des Wassers bei derselben Temperatur sei. Man hat Tabellen verfertigt, um die Spannungen des Dampfes von — 20° bis auf + 100° d. h. bis zum Siedepunkt anzugeben. Es sind Versuche angestellt worden, um die Spannungen des Wasserdampfes bei Temperaturen kennen zu lernen, die höher als 100 Grade sind; diese Versuche stellten zuerst Dalton, sodann Clement und endlich Dulong und Arago an, welche bei einem Drucke arbeiteten, der mehr als acht Atmosphären betrug, unter Umständen also, die bisweilen lebensgefährlich waren. Sie brachten bei ihren Versuchen einen Grad von Genauigkeit an, wovon man sich nur einen Begriff machen kann, wenn man die Denkschrift studirt, welche die Resultate ihrer Forschungen enthält; eine Denkschrift, welche im Jahre 1830 erschien und in welcher man eine Tabelle der elastischen Kräfte des Wasserdampfes und der entsprechenden Temperaturen von einer bis auf vierundzwanzig Atmosphären nach der Beobachtung und von vierundzwanzig bis auf fünfzig durch die Berechnung findet.

Haben die Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten bei Temperaturen, die von der ihres Siedepunkts gleichweit entfernt sind, elastische Kräfte? Diese Frage hatte Dalton bejahend gelöst; die Richtigkeit dieses Gesetzes ist aber durch nachfolgende Versuche nicht bestätigt worden.

Wenn man das Verhältniß zwischen dem Gewichte eines gewissen Volumen Dampf und dem nämlichen Volumen Luft bei gleichem Drucke und bei gleicher Temperatur sucht, so findet man, daß dieses Ver-

hältniß in Beziehung auf dieselbe Natur des Dampfes constant ist. Dieses Gesetz setzt voraus, daß sich die Dämpfe genau wie die permanenten Gase verhalten, wenn man mit dem Drucke und der Temperatur abwechselt. Diese Hypothese ist vielleicht streng genommen nicht richtig, man nimmt sie aber an, bis der Versuch entschieden hat.

Die Dichtheit der Dämpfe muß oft unter verschiedenen Drucken ins Auge gefaßt werden. Man nannte absolute Dichtheit des von einer Flüssigkeit gebildeten Dampfes die constante Zahl, welche das Verhältniß von zwei gleichen Volumen Dampf und Luft unter gleichem Drucke und gleicher Temperatur angibt. Verschiedene Verfahrungsarten sind zu Bestimmung der absoluten Dichtheiten der verschiedenen Dämpfe zuerst von Gay-Lussac, sodann von Dumas ersonnen worden, und aus den Versuchen des Ersteren geht hervor, daß ein Gramm reines Wasser unter dem Drucke von $0{,}76^m$ $1{,}6964^l$ Dampf bei 100° erzeugt. Da nun ein Volumen Wasser von einem Kubikcentimeter 1696 Kubikcentimeter Dampf geben würde, so folgt daraus, daß sich die Dichtheit des Dampfes bei 100° zu der des Wassers wie 1 zu 1696 verhalte. Gay-Lussac einerseits und Dumas andererseits haben die Dichtheit verschiedener Dämpfe bestimmt.

Die Wärmecapacitäten der Dämpfe sind wie die der permanenten Gase bestimmt worden. De la Roche und Berard verdankt man die Bestimmung der Wärmecapacität des Wasserdampfes unter einem Drucke von $1{,}9660^m$.

Die Mischung der Gase und der Dämpfe bringt Erscheinungen hervor, welche den Gegenstand der Forschungen der Physiker abgegeben haben. Dalton, der sich mit dieser Frage beschäftigte, fand: 1) daß die Dämpfe, die sich in den Gasen entwickeln, nicht augenblicklich den von dem Gase erfüllten Raum sättigen; 2) daß die elastische Kraft einer Gas- und

Dampfmischung der elastischen Kraft des Gases nebst der des Dampfes gleich sei, die sich bei derselben Temperatur in dem leeren Raume entwickeln würden; 3) daß die Menge Dampf, der sich in einem Gase bildet, derjenigen gleich ist, die sich in einem und demselben leeren Raume bei der nämlichen Temperatur bilden würde. Es ist leicht, die Bildung der Dämpfe in den Gasen, wie in dem leeren Raume, wenn man die Zeit der Sättigung des Raumes wegen des Stetigkeitsmangels der Gase und der Bedingung der Gleichartigkeit nicht in Anschlag bringt, zu erklären.

Hygrometrie.

Die Hygrometrie reiht sich an die Dampffrage an, weil sie zum Zwecke hat, die verschiedenen Grade der Feuchtigkeit der Luft mit Hülfe der Instrumente, die man Hygrometer oder Hygroskope nennt, zu bestimmen. Man hat hygrometrische Beschaffenheit der Luft das Verhältniß zwischen der Menge Wasserdampf, die in der Luft enthalten ist, und derjenigen Menge genannt, die sich in derselben befinden würde, wenn die Luft vollständig gesättigt wäre. Man wendet verschiedene Verfahrungsarten an, um den Grad der Feuchtigkeit der Luft zu messen und stützt sich auf die folgenden Principien: 1) die Gewichtszunahme der Substanzen, welche eine große Verwandtschaft zum Wasser haben; 2) die Menge Wasser, welche in derselben Zeit von der nämlichen Oberfläche verdampft; 3) die von der Verdampfung erzeugte Kälte; 4) das Volumen, auf welches die Luft durch das Zusammendrücken reduzirt werden muß, um gesättigt zu werden; 5) das Sinken der Temperatur, das die Luft erleiden muß, um die Gränze ihrer Sättigung zu erreichen; endlich die Zusammenziehung und die Ausdehnung, welche gewisse organische Substanzen durch die Feuchtigkeit der Luft

erleiden. Die nach diesen Principien verfertigten Apparate sind sowie ihre Anwendung in allen physikalischen Handbüchern beschrieben, auf welche wir verweisen; wir erwähnen hier bloß einer Tabelle, welche von Gay-Lussac verfertigt wurde und die Resultate der Versuche enthält, die mit dem Saussure'schen Thermometer über die elastische Kraft des Wasserdampfes, welche den Graden des Hygrometers bei der Temperatur von 100° C. entspricht und in Hunderteln der Spannung mit Sättigung ausgedrückt ist, angestellt wurden. Die in dieser Tabelle angeführten Resultate zeigen, daß die Verlängerung des Haares der Feuchtigkeitsmenge der Luft nicht proportional ist. Mit Hülfe dieser Tabelle ist es leicht, das Gewicht des in einem gegebenen Volumen Luft enthaltenen Dampfes zu bestimmen, wenn man die Temperatur und den Grad des Hygrometers kennt. Die Resultate, welche man bei der Temperatur von 10° erhielt, zeigen einige Differenz mit denen, welche man bei einer höheren Temperatur bekommen würde; man kann sich indessen derselben bedienen, wenn man bei Temperaturen operirt, die von 10° nicht sehr verschieden sind. Man kann überdies verschiedene Aufgaben lösen, die sich auf das Vorkommen der Dämpfe in der Luft beziehen.

Von den Erscheinungen, welche in den Zustandsveränderungen der Körper hervorgebracht werden.

Wenn die Körper ihren Zustand verändern, so kommt eine Menge Phänomene zum Vorscheine, deren Kenntniß die allgemeine Physik und die Künste im höchsten Grade angeht; wir wollen die wichtigsten zu beschreiben suchen.

Eine große Anzahl fester Körper, deren Temperatur hinlänglich erhöht wird, wird flüssig; in die-

sem Falle wird alle mitgetheilte Flüssigkeit latent und wirkt nicht auf den Thermometer. Die Körper, welche durch chemische Einwirkung flüssig werden, verlieren einen Theil ihrer wahrnehmbaren Wärme welche zur latenten Wärme wird, so daß die Mischung sich abkühlt. Man findet in dem Traité de physique von Pouillet eine Tabelle, welche die Temperatur des Schmelzens verschiedener Körper angibt. Man bestimmt die latent werdende Wärme durch das nämliche Verfahren, das zu Auffindung der specifischen Wärme angewandt wird. Geht der Körper von dem flüssigen in den festen Zustand über, so zeigen sich umgekehrte Wärmeerscheinungen.

Wenn das Wasser gefriert, so zeigt es besondere Erscheinungen, die zu verschiedenen Zeiten untersucht worden waren. Wenn ein Körper erkaltet, so zieht er sich zusammen; das Wasser besitzt diese Eigenschaft bis ungefähr zum 4. Grade; sodann nimmt das Volumen des Wassers unter diesem Grade bis zum Gefrierpunkte zu, wo es sodann ein starkes Wachsthum, welches das 0,07 des Volumens bei 0° ist, erhält. Die Physiker, welche sich mit dieser Frage abgaben, haben das Maximum der Dichtheit nicht bei demselben Grade erhalten; Hobbe fand wirklich durch zwei Methoden 3°,32 und 3°,88; Trales 4°,35; Gilpin und Blagden 3°,88; Lefevre-Gineau 4°,44; Hellestrum 4°,1 und Despretz erst kürzlich 4°. Dieses letztere Resultat scheint bis auf $1/_{100}$ Grad hin richtig zu sein.

Man hat auch das Maximum der Dichtheit von verschiedenen Auflösungen gesucht. Die vorzüglichsten Resultate, welche Despretz erhielt, sind folgende:

Alle salzigen, sauren, alkalinischen oder alkoholischen Auflösungen haben ein Maximum der Dichtheit, dessen Temperatur sich um so mehr dem Gefrierpunkte nähert, je größer die Menge des aufgelösten Stoffes ist; dieses Maximum wird

sodann bei Temperaturen hervorgebracht, welche unter der Temperatur dieser Zustandsveränderung abnehmen und kann demnach nur in so weit beobachtet werden, als man die Vorkehrungen trifft, die erforderlich sind, um die Auflösung unter die Temperatur des Gefrierens zu bringen, ohne daß sie jedoch ihren Zustand verändere. Der Gang des Maximums ist für alle Auflösungen derselbe; überdies sinkt es im Verhältnisse zu der Menge der aufgelösten Materie. Das Wasser ist nicht der einzige Kröper, der sein Maximum der Verdichtung vor seinem Festwerden erreicht; wir führen auch noch das Wismuth und das Gußeisen an.

Jedesmal wenn das Wasser der Luft beraubt ist, kann man seine Temperatur bis auf — 6° bringen, ohne daß es gefriert; bringt man es in eine Röhre, welche nur verdünnte Luft enthält, und bedeckt man seine Oberfläche mit Oel, so kann man den Gefrierpunkt bis auf — 12° herabbringen.

Eine Flüssigkeit geht entweder durch die Einwirkung der Wärme oder in Folge der Spannung, welche die Flüssigkeiten bei allen Temperaturen erlangen, in den dampfförmigen Zustand über. Im ersten Falle kann sich die Flüssigkeit in einem offenen oder verschlossenen Gefäße befinden. Ist das Gefäß offen, so erzeugen sich eine Menge von Erscheinungen, welche sorgfältig analysirt wurden und die wir hier anführen wollen.

1) Die Siedhitze ist mit dem Drucke der Atmosphäre verschieden, weil das Sieden nur dann stattfindet, wann die elastische Kraft des Dampfes diesem Drucke gleich ist.

2) Wenn das Sieden in Kesseln von 10 Metern und 40 Centimetern Höhe stattfand, so würden, da die Spannung des Dampfes auf dem Boden des Kessels zwei Atmosphären trägt, die oberen Schichten 100° die unteren Schichten 122° anzeigen.

3) Das Wasser geräth bei höheren Temperaturen in irdenen und gläsernen Gefäßen leichter ins Sieden als in metallenen; der Unterschied beträgt bisweilen 1° und 1°,5.

4) Wenn man Tropfen einer Flüssigkeit, z. B. von Wasser, in Kapseln von Platina, Silber, Eisen, die bis zur Weißglühhitze erhitzt sind, fallen läßt, so zeigt sich eine merkwürdige Erscheinung, die im Jahre 1756 von Leidenfrost beobachtet wurde: die Tropfen vereinigen sich in einen einzigen und nehmen eine schnelle drehende Bewegung an; die Verdampfung geht um so langsamer vor sich, je erhitzter die Kapsel ist. Diese Erscheinung findet gleichfalls mit dem Alkohol, Aether, den wesentlichen Oelen u. s. w. Statt.

5) Der Siedpunkt des Wassers hängt von der Natur der Substanzen ab, die in demselben aufgelöst sind: den Beweis davon findet man in der Tabelle von dem Sieden verschiedener Flüssigkeiten unter dem gewöhnlichen Drucke.

Wir wollen zu dem Sieden in verschlossenen Gefäßen übergehen; die vorzüglichsten Erscheinungen, welche beobachtet wurden, und welche für die Künste von großer Wichtigkeit sind, sind folgende:

1) Die Temperatur, bei welcher das Sieden beginnt, ist um so höher, je größer der Druck ist; alsdann wächst die elastische Kraft des Dampfes in einem gewissen Verhältnisse.

2) Der sich bildende Dampf verzögert das Sieden bis auf eine gewisse Temperatur, bei welcher die ganze Flüssigkeit verdampft wird. Diese Temperatur ist die, in deren Beziehung die Dichtheit des Dampfes der Dichtheit der Flüssigkeit multiplizirt mit dem Verhältnisse des Volumens der Flüssigkeit zu dem des Gefäßes gleich ist. Cagniard de la Tour hat wirklich gefunden, daß der Aether in einem verschlossenen Gefäße bei 150° in einem Raume, der

um das Doppelte seines Volumens kleiner war, verdampft wurde, und daß daraus ein Druck von 70 Atmosphären entstand. Andere Flüssigkeiten zeigten die nämliche Erscheinung.

Die Bildung des Dampfes wird nach den Umständen, in welchen er erzeugt wird, modifizirt. Wir führen besonders den Druck an, der geringer als der atmosphärische ist; die Aussetzung der Flüssigkeiten in Mitteln, die von den Dämpfen eben dieser Flüssigkeiten mehr oder weniger gesättigt sind, und woraus ein Sinken der Temperatur entsteht, das bis zum Gefrieren gehen kann. Die freiwillige Verdampfung, welche alsdann entsteht, hängt von der Temperatur der Luft, von der hygrometrischen Beschaffenheit derselben und von ihrer Verrückung aus irgend einigen Ursachen ab.

Die Wärme, welche dazu verwandt wurde, die Flüssigkeiten in dem dampfförmigen Zustande zu erhalten, wurde latente Wärme genannt, weil sie die Entfernung der Moleküle erhält. Despretz, welcher die latente Wärme der Dämpfe des Wassers, des Alkohols, des Schwefeläthers und des Terpentingeistes bestimmte, fand, daß eine Flüssigkeit, welche auf den Siedpunkt gekommen war, um so weniger Wärme zu ihrer Verdampfung verlangt, je größer die Dichtheit ihres Dampfes ist, und daß die latenten Wärmen der verschiedenen Dämpfe merklich im umgekehrten Verhältnisse ihrer Dichtheit im Siedepunkte sind.

Die Verdampfungswärme ist von verschiedenen Physikern, von Rumfort, Dulong, Clement und Desormes, Southern und Wat bestimmt worden; die von ihnen erhaltenen Resultate sind von 527 bis 557 verschieden.

Verschiedene Umstände äußern auf die Rückkehr der einen Raum sättigenden Dämpfe in den liquiden Zustand einen Einfluß; wir führen besonders das Sinken der Temperatur oder eine Vermehrung des

Druckes an: ist der Raum nicht gesättigt, so würde ein Sinken der Temperatur oder eine mehr oder minder große Vermehrung des Druckes die Rückkehr des Dampfes in den liquiden Zustand nicht zur Folge haben.

Achtes Kapitel.

Von der Schwere.

Bis jetzt war nur von den unwägbaren Flüssigkeiten die Rede, welche auf die Moleküle der Körper nur in kleinen Entfernungen wirken, um die Eigenschaften derselben zu modifiziren: wir wollen uns jetzt mit Kräften von einer andern Natur beschäftigen, welche entweder in großer oder kleiner Entfernung nicht um ihre Eigenschaften zu modifiziren, sondern um attraktive Erscheinungen, deren Gesetze bekannt sind, hervorzubringen, wirken. Haben diese Kräfte vielleicht ihren Ursprung in dem mannigfaltig modifizirten Aether?

Bei der Unmöglichkeit, auf die Ursache der hervorgebrachten Erscheinungen zurückzukommen, muß man sich darauf beschränken, die Wirkungen und die Gesetze, unter denen sie stehen, zu untersuchen. Man hat Attraktion das Streben eines Körpers genannt, sich nach einem Körper hin zu verfügen; wirkt dieses Streben auf große Weiten, so nennt man diese Attraktionskraft Schwere; wirkt sie hingegen auf kleine Weiten, so heißt sie Molekularattraktion, Verwandtschaft, je nachdem sie ihre Wirkung zwischen ähnlichen oder unähnlichen Molekülen ausübt. Man hat ein Beispiel von der Wirkung der Schwere, wenn ein Körper, der durch kein Hinderniß aufgehalten wird, auf die Erde fällt. Die Alten hatten zu Erklärung des Falles des Körpers verschiedene Systeme erdacht; wir führen aber bloß das Descartes'sche an, welches das sinnreichste und

anlockendste ist. Ihm zufolge hängt diese Erscheinung von der Bewegung der feinen Materie ab, welche um die Erde herum wirbelt; da alle Theile des Wirbels von einer Centrifugalkraft beseelt sind, welche sie treibt, sich von der Erde zu entfernen, so müssen sie die Körper nach entgegengesetzter Richtung, in einer Richtung forttreiben, welche derjenigen, die ihnen die drehende Bewegung verleiht, zuwider läuft. Diese Erklärung, welcher man wichtige Einwendungen entgegenhielt, verschwand gänzlich, als Newton das Princip der allgemeinen Gravitation entdeckte, nach welchem er zeigte, daß die Sonne ihre Wirkung auf die Planeten und diese auf ihre Trabanten ausübe.

Man betrachtet die Schwere als eine Kraft, die unaufhörlich auf jedes Molekül eines Körpers wirkt; die Geschwindigkeit, mit welcher dieser Körper fällt, hängt nicht von der Masse des Körpers ab, weil ein abgesonderter Theil von dem Körper von der nämlichen Geschwindigkeit beseelt würde; ist also die Masse größer, so ist auch eine größere Anzahl von Theilchen vorhanden, welche die nämliche Geschwindigkeit besitzen. Die Schwere muß also nach der Geschwindigkeit gemessen werden, die sie in einer gegebenen Zeit jedem Moleküle eines Körpers verleiht; die Wirkung, welche angewandt wird, um ihn in seinem Falle aufzuhalten, heißt Gewicht, welches dazu dienen kann, die Menge der in dem Körper enthaltenen Moleküle zu bestimmen; das Gewicht muß nun dem Produkte der Masse durch die Geschwindigkeit gleich sein: ist die Masse bekannt, so wird die Geschwindigkeit daraus abgeleitet, und umgekehrt.

Wenn ein Körper von irgend einer Ursache in Bewegung gesetzt wird, so fährt er fort, sich mit der nämlichen Geschwindigkeit in derselben Richtung fortzubewegen, wenn keine fremde Ursache dazwischenkommt, welche den erhaltenen Impuls modifizirt.

Wirkt aber die Kraft beständig und auf eine gleichförmige Weise, so muß die Geschwindigkeit der Bewegung in jedem Augenblicke und gleichförmig wachsen.

Dies ereignet sich ganz genau so, wenn ein Körper gegen die Erde fällt; die Geschwindigkeit wächst alsdann wie die Zeit und die durchlaufenen Räume verhalten sich untereinander wie die Quadrate der Zeit. Man hat durch den Versuch gefunden, daß ein Körper, dem die Luft keinen Widerstand entgegenstellt, in der ersten Sekunde ungefähr 4,9044 Meter durchläuft.

Man leitet aus der gleichförmig beschleunigten Bewegung, welche aus der Schwere entspringt, ab, daß der in einer gegebenen Zeit durchlaufene Raum die Hälfte desjenigen ist, den der bewegte Körper zu durchlaufen im Stande wäre, wenn die erlangte Geschwindigkeit gleichförmig wäre. Galilei verdankt man das Gesetz, nach welchem die Schwere auf die Körper wirkt, die sich in einer kleinen Entfernung von der Erde befinden. Dieses Gesetz war aber nicht hinreichend, um das Princip der allgemeinen Gravitation zu finden; man mußte auch noch diejenige haben, denen die Bewegungen aller Himmelskörper unterworfen sind. Diese große Entdeckung machte Kepler. Die Gesetze, nach welchen diese Bewegungen sich richten, sind folgende: 1) die Planeten bewegen sich in ebenen Curven und ihre Radien Vektoren beschreiben Räume, die den Zeiten proportional sind; 2) die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte sich die Sonne befindet; 3) die Quadrate der Umlaufszeiten sind den Kubus ihrer großen Achsen proportional. Newton entwickelte durch die Verbindung dieser drei Gesetze das Gesetz, nach welchem sich die ganze Natur richtet. Nachdem er vermuthet hatte, daß die Schwere, welche in einer geringen Entfernung von der Erde oder auf dem Gipfel der höchsten Berge die nämliche Inten=

sität zu haben schien, sich auf beträchtliche Entfernungen in dem Raume erstrecke und alsdann an Intensität abnehme, so nahm er anfänglich an, daß sich diese Wirkung bis auf den Mond ausdehne, und daß er in ihrer Verbindung mit der Wurfbewegung dieses Trabanten einen elliptischen Kreis um die Erde beschreiben müsse. Als Newton diesen Gedanken der Berechnung unterwarf, und die Bewegung des Mondes in seiner Bahn, das Verhältniß zwischen dem Radius der Erde und dem dieser Bahn in Erwägung zog, so bestimmte er, um wie viel die Schwere verringert sein müsse, damit die beobachteten Wirkungen zum Vorscheine kommen; er fand alsdann, daß sich das Gesetz der Schwere nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung richte; ein Gesetz, das er bis auf die Sonne ausdehnte, die er als den Brennpunkt einer Kraft ansah, die sich auf eine unbestimmte Weise in dem Raume fortpflanzt, und im direkten Verhältnisse der Massen und im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung auf alle Körper in dem Sonnensysteme wirke, während zu gleicher Zeit diese Körper ähnliche Wirkungen auf einander ausübten. Daher das allgemeine Princip, daß sich alle Molekülen der Materie gegenseitig auf Entfernung im direkten Verhältnisse der Massen und im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung anziehen.

Wir übergehen mit Stillschweigen eine Menge von Nebenfragen, welche vermittelst des Princips, der allgemeinen Gravitation leicht gelöst werden können. Dieses Princip, das sich in Beziehung auf die Wirkung, welche die Erde auf die Körper, welche dieser Wirkung preis gegeben sind, ausübt, leicht bestätigen läßt, zeigte indessen einige Schwierigkeit in seiner Bestätigung rücksichtlich zweier Körper von kleiner Dimension. Cavendish löste diese Aufgabe

vermittelst einer Methode, deren Idee Michell von der Königlichen Societät in London angehört; diese Methode besteht darin, die Wirkungen der gegenseitigen Anziehung zweier Körper dadurch zu messen, daß man dem einen derselben eine hinreichende Beweglichkeit gab, damit er der Einwirkung der andern folgen könne. Er bediente sich zu diesem Ende der Drehwage des Coulomb zu Bestimmung der Gesetze der elektrischen und magnetischen Attraktionen und Repulsionen. Die Resultate sind in den Transact. philosoph. für das Jahr 1798 enthalten. Durch dieses Mittel gelang es ihm, zu zeigen, daß die Dichtheit der Erde sechsthalbmal größer als die des Wassers sei.

Die Schwere ist an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche verschieden. Man hat es dahin gebracht vermittelst des Pendels diese Verschiedenheiten zu bestimmen. Es findet auch wirklich ein solches Verhältniß zwischen der Dauer der Schwingungen eines Pendels, seiner Länge und der Intensität der Schwere Statt, daß man eine derselben aus der Formel, welche diese drei Größen verbindet, ableiten kann, wenn die beiden andern bekannt sind. Wenn die Schwingungen eines Pendels sehr klein sind, so ist ihre Dauer von ihrer Weite, von dem Gewichte und der Natur der Kugel unabhängig; die Dauern verhalten sich unter sich, wie die Quadratwurzeln der Pendellängen. Zählt man also in einer als Einheit augenommenen Zeit, die Zahl der Schwingungen, welche das Pendel macht, so leitet man daraus die Dauer einer Schwingung mit einer um so größerer Genauigkeit ab, je beträchtlicher die Zahl der Schwingungen war. Borda ist der erste Physiker, welcher ein genaues Verfahren zu Beobachtung des Pendels angab. Er stellte seine Versuche im Jahre 1790 auf der Sternwarte zu Paris an. Biot, Bouvard und Mathieu wiederholten die nämlichen Versuche im Jahre 1808

und Arago und Humboldt im Jahre 1818, indem sie andere Verfahrungsarten anwandten. Beide gelangten zu den nämlichen Resultaten wie Borda, d. h. daß die Intensität der Schwere zu Paris 9,8088^{m} gleich ist, ein Werth, welcher anzeigt, daß ein Körper, welcher in dem leeren Raume eine Sekunde lang fallen würde, eine solche Geschwindigkeit bekäme, daß er, wenn man ihn sodann sich selbst überließe, diese Weite in den folgenden Sekunden durchlaufen würde. Nun wäre der während dieser Sekunde durchlaufene Raum gleich 4,9044^{m}. Die Anwendung der weiter oben angegebenen Formel erheischt zwei Sachen; das Maß der Dauer der Pendelschwingungen, und die Bestimmung der Länge des einfachen Pendels; ein Verfahren, das die größte Sorgfalt erfordert, wenn man die Intensität der Schwere an verschiedenen Oertern auf der Erdoberfläche, besonders da vergleichen will, wo nur schwache Differenzen stattfinden. Um diese Vergleichung anzustellen, darf man nur das nämliche Pendel unter den nämlichen Umständen an verschiedenen Oertern schwingen lassen, und da alsdann die Länge des einfachen Pendels dieselbe ist, so folgt daraus, daß die Dauer der Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzel der Intensität der Schwere verschieden sein wird. Nun wird es leicht, wenn man die Intensität eines der Oerter kennt, die der andern Punkte daraus abzuleiten. Diese Versuche gestatten es auch, die Länge des einfachen Pendels zu bestimmen. Dieses Pendel ist idealisch, weil es aus einem undehnbaren Faden und ohne Schwere besteht, an dessen Ende sich ein wägbares materielles Molekülе befindet; nach dem soeben Gesagten bestimmt man aber die Länge durch eine indirekte Methode. In Paris beträgt die Länge des Sekundenpendels nach Borda 993,8267 Millimeter; in London nach Kater 994,1147 Millimeter.

Man hat gefunden, daß die Schwere von den

Polen gegen den Aequator hin um $^1/_{176}$ ihres mittleren Werthes abnehme. Zwei Ursachen tragen zu dieser Abnahme bei: die Abplattung der Erde an den Polen und die Centrifugalkraft. Wir sind auf eine ganz natürliche Weise darauf geführt, einige Worte über die Gestalt der Erde zu sagen. Wenn man von den Ungleichheiten, die sich auf der Oberfläche der Erdkugel befinden, und die in Beziehung auf ihren Durchmesser aus der Acht gelassen werden dürfen, abstrahirt, so darf die Oberfläche als wirklich regelmäßig angesehen werden. Die Alten hatten schon einen Begriff von der Krümmung der Erde, die sie für sphärisch hielten, da ihnen kein Mittel zu Gebot stand, ihre wahre Dimensionen genau zu bestimmen; sie hatten sie indessen mit einiger Annäherung angegeben. Newton sprach sich zuerst dahin aus, daß die Erde an den Polen abgeplattet und demnach am Aequator angeschwollen sei. Diese analytische Deduktion ist seitdem durch zahlreiche Versuche bestätigt worden.

Man bestimmt die Gestalt der Erde nicht bloß mit dem Pendel, wie wir soeben gesagt haben, sondern auch noch vermittelst geodätischer Operationen. Zu diesem Ende wählt man zu Zeichenpunkten Felsspitzen, Gipfel von Gebäuden, die so gelegen sind, daß man von einem dieser Punkte aus wenigstens zwei andere sehen kann. Man wählt sodann eine Operationslinie, die man auf das Allergenaueste mißt, man verbindet alle Punkte durch Dreiecke, deren Winkel sorgfältig gemessen werden. Auf diese Weise kann man einen großen Raum mit Netzen von Dreiecken bedecken. Dieses Verfahren ist über den ganzen Boden Frankreichs, in England, Deutschland und Italien angewandt worden. Dieses Triangulirungssystem ist in dem übrigen Theile von Europa, in Amerika und sogar in Asien, in Indien, eingeführt worden. Wenn man diese Operation über die ganze Erdoberfläche ausdehnt, so lernt man endlich ihre Oberfläche

kennen. Dieses Verfahren, wodurch man beweist, daß die Erde an den Polen abgeplattet ist, dient auch noch dazu, die Ausdehnung dieser Abplattung zu bestimmen. Man hat es folgendermaßen dahin gebracht. Als Beispiel wollen wir Beobachtungen nehmen, die zu Paris und auf der Insel Formentera angestellt wurden. Man fand, daß auf dem Meridian von Paris die Vertikale des Parallelkreises von Formentera mit der des Parallelkreises von Dünkirchen unter sich einen Winkel von 12° 22′ 14″ bilden. Diese beiden verlängerten Linien würden im Mittelpunkte der Erde oder nicht weit davon zusammenstoßen. Wenn man von dem Punkte des Zusammentreffens aus einen Kreisbogen beschreibt, der durch die beiden Stationen geht, so wird dieser Bogen 12° 22′ 14″ betragen. Nun findet man vermittelst der Triangulirung, daß die auf diesem Bogen gezählte Entfernung zwischen diesen beiden Punkten 1374438,72 Meter beträgt. Nichts ist einfacher, als die Entfernung für einen einzigen Grad daraus abzuleiten. Diese Entfernung wird die Länge eines Meridiangrades genannt. In dem Falle, wo die Erde sphärisch wäre, würde die Länge auf allen ihren Punkten an irgend einem beliebigen Orte der Erde die nämliche sein; dem ist aber nicht so; denn man findet, daß die Grade des Aequators kleiner als die der Pole sind, was auf eine unbestreitbare Weise die Abplattung der Pole beweist. Eine große Anzahl von Beobachtern hat verschiedene Meridiane und in mehreren Breiten Bögen von mehreren Graden gemessen; alle erhaltene Resultate tragen dazu bei, einen Begriff von der Gestalt der Erde zu geben und dieselbe kennen zu lernen. Wir führen hier die Beobachtungen Bouguers und La Condamine's in Peru, Lambtons in Indien, Lacaille's auf dem Cap, Masons und Dicksons in Pensylvanien, Lemaire's und Boscowichs in Italien, Delambre's und Mechins, Biots und

Arago's in Frankreich, Spanien und an den Küsten des Mittelmeeres, de Roy's, Delambre's und Mechins in England bei Greenwich, Melanderhielms in Schweden an. Aus allen angestellten Beobachtungen leitet man folgende Resultate ab:

	Meter
Halbmesser des Aequators . . .	6376984
Halbmesser des Pols	6356324
Differenz	20660

Man findet daraus, daß die Abplattung $^1/_{308{,}65}$ beträgt und daß der mittlere Halbmesser, welcher einer Breite von 45° entspricht, 6366194 Meter hat.

Bouguer suchte, um die Wirkungen der Attraktion der Erde auf alle Körper zu beobachten, ob die Gebirge nicht zufälliger Weise eine Wirkung auf das Senkblei ausübten, die im Stande wäre, es aus seiner senkrechten Lage zu bringen. Seine Vermuthungen wurden durch die Versuche bestätigt, die er an den Wänden des Chimborasso, eines der höchsten Berge auf der Erde, anstellte, und er fand an dem Senkblei eine Abweichung von 7 bis 8″; man war der Meinung, daß diese Berge, welche vulkanisch sind, große leere Räume enthalten müssen, und daß demnach die erhaltenen Resultate geringer ausfallen, als wenn der Berg voll gewesen wäre; Maskeline fand auch wirklich im Jahre 1772, daß am Fuße der shehallschen Berge, welche bei weitem nicht so hoch als der Chimborasso sind, die Abweichung 54″ betrug. Man ist also dadurch zu der Annahme berechtigt, daß die Abweichung des Senkbleies sowohl von dem Volumen als auch von der Natur der Substanzen abhänge, woraus die Berge bestehen. Bei einer Vergleichung der Masse der Erde mit der des Berges machte Maskeline den Schluß, daß die Dichtheit der Erde das Fünfthalbfache der Dichtheit des Wassers betrage, ein Werth, auf welchen Cavendish vermittelst der Drehwage gleichfalls gelangte.

Wirkung der Schwere auf die liquiden Körper und die Gase.

Die liquiden Körper sind wegen der Beweglichkeit ihrer Theile, die es ihnen möglich macht, sich mehr oder minder leicht zu verrücken, der Wirkung der Schwere unterworfen; demnach müssen ihre physische Eigenschaften von dieser Kraft und von der Anziehung ihrer Moleküle abhängen. Die erste dieser Eigenschaften ist unter dem Namen des Princips der Gleichheit des Druckes bekannt, vermöge dessen ein liquider Körper, der sich in einem Gefäße befindet, auf alle Punkte dieses Gefäßes den Druck fortpflanzt, welchen die Oberfläche erleidet. Dieser Druck ist der Größe der Oberfläche proportional. Die zweite Eigenschaft betrifft das Gleichgewicht der liquiden Körper. Damit dieses Gleichgewicht stattfinde, muß die Oberfläche horizontal, d. h. auf die Kraft perpendikular sein, welche auf die Moleküle wirkt und irgend ein Moleküle muß auf jeder Seite einen entgegengesetzten Druck erleiden. Aus dem Principe der Gleichheit des Druckes erhellt, daß der Druck auf den Boden eines Gefäßes dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule gleich ist, die zur Grundfläche eben diesen Boden und zur Höhe die des Wasserspiegels hat.

Man erwägt bei dem Gleichgewichte der liquiden Körper den Mittelpunkt des Druckes oder den Angriffspunkt aller elementarischen Drucke. Dieser Punkt liegt natürlicher Weise tiefer als der Schwerpunkt, weil die Kräfte wachsen, je tiefer man hinabkommt. Die Gase sind, wie alle Körper, ebenso wie die liquiden, der Einwirkung der Schwere und der Molekularkräfte unterworfen. Man hat einen auffallenden Beweis in den häufigen Ortsveränderungen, welche die Luft erleidet und woraus so mannigfaltige Wirkungen entspringen. Die Schwere der Luft, welche

von Galilei bewiesen wurde, ist von Toricelli vermittelst einer Glasröhre, die an einem Ende verschlossen, mit Quecksilber gefüllt und in ein Bad von diesem Metalle umgekehrt gestellt wurde, bestätigt worden; die Quecksilbersäule sank in der Röhre und diente augenscheinlich zum Maße für die Höhe der Atmosphäre; sodann auch von Pascal vermittelst seines berühmten Versuchs auf dem Puy-de-Dome, durch welchen er zeigte, daß, da die Quecksilbersäule in dem Verhältnisse sank, je höher man in der Atmosphäre hinaufkam, der Druck derselben in dem Verhältnisse abnehme, zu je höheren Standpunkten man gelangte.

Damit ein Gas im Gleichgewichte sei, muß bloß seine elastische Kraft in der ganzen Ausdehnung einer wasserrechten Schichte dieselbe sein. Wenn sich dieser Kraft nichts widersetzt, so dehnt sich das Gas aus. Daraus möchte hervorgehen, daß die Atmosphäre nicht auf zwölf bis fünfzehn französische Meilen beschränkt ist, denn nichts würde sich dem Umstande widersetzen, daß sich die Moleküle der Luft nicht in den leeren Raum stürzten und sich in der Unermeßlichkeit der Himmel verbreiteten. Wir haben aber in der Optik Erscheinungen, die sich nur durch die Annahme erklären lassen, daß die Atmosphäre eine Gränze habe. Was den atmosphärischen Druck anbetrifft, so sieht man übrigens, daß die Quecksilbersäule der Toricellischen Röhre zu Bestimmung desselben so wie der Veränderungen, welche die Atmosphäre erleidet, wenn diese Säule steigt oder fällt, dienen könne. Die Toricellische Röhre, an welcher man eine Skale angebracht hat, bildet unsern Barometer. Dieses Werkzeug ist so bekannt, daß wir uns aller Ausführlichkeiten über seinen Bau und über seinen Gebrauch enthalten werden. Wir wollen zu den allgemeinen Schlüssen übergehen, die aus den mit dem Barometer angestellten Beobachtungen abgeleitet wurden. Dieses Instrument zeigt

folglich, indem es die Veränderungen des Druckes, welchen die Atmosphäre erleidet, angibt, alles das an, was in den hohen Regionen der Luft jedesmal vorgeht, wenn sich dieser Druck ändert. Unter den mannigfaltigen Veränderungen, welche hinzukommen, unterscheidet man besonders zwei Arten, die zufälligen und die stündlichen Veränderungen. Was die Ersteren anbetrifft, so finden sie sehr unregelmäßig Statt, und man kann weder die Zeit, noch ihre Ausdehnung vorhersehen; die zweiten sind zu bestimmten Stunden immer dieselben.

Man verdankt Laplace eine Theorie des barometrischen Gleichgewichts und Humboldt und Ramon eine Menge von Beobachtungen, die ganz geeignet sind, auf die Vortheile des Barometers bei dem Studium der Meteorologie und bei den großen geographischen Nivellirungen aufmerksam zu machen. Ramon behauptete, daß es an dem Tage eine Stunde gebe, zu welcher die Höhe des Barometers sehr merklich die mittlere Höhe des Tages sei, welche die mittlere unter den Beobachtungen ist, die von Stunde zu Stunde innerhalb der 24 Stunden des Tages angestellt wurden; die von Ramon gefundene Stunde ist 12 Uhr; kennt man die mittleren Höhen eines jeden Tages, so kann man die mittlere Höhe eines jeden Monats nehmen u. s. f. Er hat überdies bewiesen, daß man in unsern Klimaten die stündlichen Veränderungen nur durch Bestimmung der monatlichen oder jährlichen mittleren, welche gewissen Stunden des Tages entsprechen, finden könne. Unter dem Aequator kann man diese Veränderungen unmittelbar beobachten und Humboldt hat daselbst gefunden, daß das Maximum der Höhe neun Uhr Morgens entspreche, und daß der Barometer sodann bis vier oder halb fünf Uhr Nachmittags falle, einem Augenblicke, wo er sein Minimum erreicht; er steigt sodann wieder bis eilf Uhr des Abends, wo er ein zweites Maxi-

mum erreicht und sodann wieder bis vier Uhr des Morgens fällt. Die schwingenden Bewegungen des Quecksilbers sind so regelmäßig, daß sie zu Bezeichnung der Stunden dienen könnten. Von Humboldt hat auf zwei Millimeter den Abstand zwischen dem größten Steigen und dem tiefsten Fallen berechnet. Wir fügen noch bei, daß Ramon, welcher auf so viele Schwierigkeiten stieß, in unseren Klimaten die stündlichen Veränderungen zu erkennen, welche durch den Einfluß so vieler störenden Ursachen verhüllt werden, fand, daß im Winter das Maximum um neun Uhr des Morgens, das Minimum um drei Uhr Nachmittags und das zweite Maximum um neun Uhr Abends sei. Im Sommer findet das Maximum vor acht Uhr Morgens, das Minimum um vier Nachmittags und das zweite Maximum um neun Uhr Abends Statt. Im Frühlinge und im Herbste liegen die beiden Maxima und die beiden Minima dazwischen; unter dem Aequator ist die absolute Ausdehnung der Veränderungen etwas geringer. Was die Verhältnisse anbetrifft, welche zwischen den Abwechslungen des Barometers und den dazu kommenden Veränderungen in der Atmosphäre stattfinden können, so ist dies eine Aufgabe der Anwendung der Physik auf die Meteorologie, wovon in diesem Werke gehandelt werden wird.

Von der Zusammendrückbarkeit der Gase.

Eine Folge von der Elasticität der Gase ist die Zusammendrückbarkeit, d. h. das Vermögen, einen kleineren Raum einzunehmen, wenn man ihnen eine Kraft entgegenstellt, die größer ist als die, welche ihre Elasticität mißt. Nach Mariotte stehen die Volumen der Gase im umgekehrten Verhältnisse der Drucke, die sie erleiden; dieses Gesetz ist beinahe zu gleicher Zeit von Boyle in England aufgefunden und von Dulong

und Arago bis auf sieben und zwanzig Atmosphären und für sehr niedrige und sehr hohe Temperaturen bestätigt worden. Man hält es aber für wahrscheinlich, daß es nicht für alle Temperaturen und für alle Drucke gelten würde, weil gewisse Gase, die man für permanent hielt, flüssig geworden sind, wenn man sie einem gewissen Drucke unterwarf, oder ihre Temperatur hinreichend erniedrigte. Dieses Gesetz gilt auch noch für Gasmischungen, welche weder unmittelbar noch in Folge eines Drucks chemisch aufeinander wirken können. Man bedient sich zu Wegschaffung der Luft aus einem Recipienten, zu Zusammenpressung oder Ausdehnung derselben, gewisser Werkzeuge, die man Compressionsmaschinen nennt, deren Beschreibung man, so wie der mannigfaltigen Instrumente, die darauf Bezug haben, in allen physikalischen Lehrbüchern findet. Wir führen gleichfalls nicht die verschiedenen Pumpen an, welche in den Künsten gebräuchlich sind, und deren Verfertigung und Wirkungen auf den vorher angegebenen Principien beruhen.

Von der specifischen Schwere oder Dichtheit der liquiden Körper und der Gase.

Um das, was wir über die Schwere zu sagen haben, vollständig zu machen, haben wir noch von dem Principe, auf das man sich stützt, um die specifische Schwere der festen, liquiden und gasartigen Körper zu finden und von dem Ausfließen der liquiden Körper durch Mündungen mit dünnen Wänden, so wie von dem Ausfließen der Gase zu sprechen. Das Princip, durch welches man die Dichtheit eines Körpers findet, rührt von Archimed her und heißt so:

Ein Körper, der in eine Flüssigkeit versenkt wird, verliert in derselben einen Theil seines Gewichts, der dem Gewichte des Vo-

lumens von der Flüssigkeit gleich ist, das er aus der Stelle getrieben hat; das nämliche Princip bestätigt sich, wenn man statt eines liquiden Körpers ein Gas nimmt. Die specifische Schwere ist das Gewicht des Körpers, verglichen mit dem als Einheit angenommenen Volumen des aus seiner Stelle vertriebenen Wassers.

Man hat mannigfache Apparate verfertigt, um die oben erwähnten Bestimmungen anzustellen; sie haben in der Physik den Namen hydrostatischer Wagen erhalten. Die Dichtheit der liquiden Körper erhält man nach den nämlichen Principien, d. h. man vergleicht das Gewicht der tropfbaren Flüssigkeiten mit dem von einem gleichen Volumen Wasser. Es ist hinreichend, eine mit Schmirgel verstopfte Flasche leer und mit destillirtem Wasser angefüllt nach einander zu wägen; die Gewichtsverschiedenheit gibt das Gewicht des Volumen Wassers an, das sie enthält. Man wägt sodann das Gefäß, das mit der Flüssigkeit angefüllt ist, dessen Dichtheit man bestimmen will; die Differenz zwischen dem Gewichte und dem der leeren Flasche gibt das Gewicht der Flüssigkeit und man erhält auf diese Weise leicht die Dichtheit.

Die Dichtheit der Gase erhält man vermittelst verschiedener Verfahrungsarten; man bezieht sie auf die der atmosphärischen Luft bei dem Drucke von $0{,}76^{m}$ und bei der Temperatur des schmelzenden Eises. Man darf alsdann nur die Gewichte von einem und demselben Volumen Luft und Gas bei 0^{o} der Temperatur und 0,76 Druck kennen. In Beziehung auf die Beschreibung und den Gebrauch der Apparate verweisen wir gleichfalls auf physikalische Lehrbücher.

Von der Bewegung der liquiden Körper oder der Gase.

Es ist in einer historischen Einleitung sehr schwer, die Bewegungen, denen die verschiedenen Theile einer

Flüssigkeit in einem Behälter unterworfen sind, wenn sie durch eine Oeffnung mit dünnen Wänden ausfließt, auch nur mit wenigen Worten anzugeben; einige allgemeine Thatsachen werden indessen hinreichen, um diese Bewegung zu charakterisiren.

Wenn man in die Flüssigkeit Körper von einem kleinen Volumen und von derselben Dichtheit bringt, so daß sie in derselben schwebend erhalten werden, so sieht man in dem Augenblicke, wo die Flüssigkeit auszufließen anfängt, wie sich die liquiden Moleküle senkrecht bis auf einige Centimeter von der Oeffnung bewegen, worauf sie sich nach derselben hinrichten. Da nun immer in der nämlichen Zeit die nämliche Menge Flüssigkeit durch alle horizontale Schichten durchgehen muß, so muß in jedem Augenblicke die mittlere Geschwindigkeit in jeder der Schnitten im umgekehrten Verhältnisse zu ihrer Oberfläche stehen. Während das Ausfließen stattfindet, ist die Gränze der Flüssigkeit nicht immer eine horizontale Fläche. Kommt der Strahl senkrecht bei einer Mündung heraus, die auf dem Boden angebracht ist, und ist der Spiegel bis auf eine kleine Entfernung von der Mündung gesunken, so entfernt sich die Flüssigkeit von der Achse dieser letztern und bildet einen Trichter, dessen Spitze ihrem Mittelpunkte entspricht. Was das Abfließen durch Mündungen mit dünnen Wänden und die Beschaffenheit der liquiden Adern anbetrifft, so können wir nur auf Savart's Arbeiten verweisen; die Phänomene sind dergestalt complizirt, daß es uns unmöglich ist, einen, wenn auch gedrängten Begriff davon zu geben, ohne die zahlreichen Resultate anzuführen, zu welchen er gelangte.

Die Geschwindigkeit des Ausfließens ist durch Versuch und Kalkul bestimmt worden; man sieht aus dem Versuch, daß diese Geschwindigkeit, die im ersten Augenblicke des Ausfließens Null ist, eine gewisse Zeitlang auf eine stetige Weise zunimmt, worauf sie

gleichförmig wird, wenn der Spiegel constant bleibt, oder abnimmt, wenn der Spiegel fällt. Durch Rechnung findet man, daß, wenn der Durchmesser der Mündung in Bezug auf den des Gefäßes sehr klein ist, die Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit derjenigen gleich ist, welche ein fester Körper erlangen würde, wenn er von einer Höhe herabfiele, welche der Entfernung des Mittelpunktes dieser Mündung von dem Spiegel dieser Flüssigkeit gleich ist. Dieses Gesetz ist durch den Versuch bestätigt worden.

Die angestellten Versuche, um den Ausfluß durch Mündungen zu bestimmen, die in dünnen Wänden angebracht sind, haben auf folgende Resultate geführt, indem man jedoch immer die Apparate so anbrachte, daß die Höhe der Flüssigkeit constant blieb:

1) Die Form der Mündung ist ohne Einfluß, wofern nicht ihr Umfang eingehende Winkel hat; 2) in Beziehung auf Mündungen, die in dünnen Wänden angebracht sind, deren Durchmesser zehn Millimeter übersteigt, ist der zusammengezogene Durchschnitt beinahr 0,6 der Fläche der Mündung gleich; 3) bei sehr kleinen Mündungen ist der zusammengezogene Durchschnitt etwas größer, was wahrscheinlich daher kommt, daß die Dicke der Wand alsdann merklich und eine Wirkung hervorgebracht wird, welche derjenigen ähnlich ist, welche aus den Ansätzen entspringt; 4) bei der nämlichen Mündung ist der Ausguß größer, wenn die Fläche, in welcher sie angebracht ist, inwendig concav, als wenn sie eben ist, und das Gegentheil findet Statt, wenn diese Oberfläche convex ist.

Wir hätten noch von dem Stoße der Adern an feste Hindernisse, von dem Stoße der Adern unter sich zu sprechen; wir wollen aber lieber aus den vorher angegebenen Gründen auf die bereits angeführten Arbeiten Savart's verweisen.

Wenn man an der Ausflußmündung Ansätze anbringt, so kann es sich ereignen, daß die Ader durch-

geht, ohne den Ansatz zu berühren, oder daß sie ihn berührt. In dem ersten Falle ändert sich das Ausgießen nicht. Hängt sich die Ader an den Ansatz an, so geschieht das Ausgießen bei voller Mündung; in dem Falle, wo der Ansatz cylindrisch ist und seine Länge seinen Durchmesser nicht viermal übertrifft, so wird die Menge der ausgeflossenen Flüssigkeit um ein Drittel vermehrt; bei einem ausgeschweiften Ansatze ist der Ausguß noch beträchtlicher: bringt man den Ansatz inwendig an, so wird er vermindert.

In den Capillarröhren wird die Geschwindigkeit wegen der Reibung, welche unmittelbar auf die den Wänden adhärirende Flüssigkeit wirkt, weit mehr vermindert, als in den Röhren, deren Durchmesser eine gewisse Dimension hat. Jedesmal, wenn eine Flüssigkeit die Wände einer Röhre nicht naß macht, hört sie unter dem nämlichen Drucke und bei derselben Länge vollständig zu fließen auf. Macht hingegen die Flüssigkeit die Wände der Röhre naß, so hört das Ausfließen nicht auf; es wird aber durch die Verlängerung der Röhre oder Verminderung ihres Durchmessers verzögert; wir fügen noch bei, daß die Geschwindigkeit die nämliche ist, das Ende der Röhre mag sich in die Luft oder in eine gleichartige Flüssigkeit münden. Der Ausguß nimmt mit der Tempetur zu und die Ungleichheiten in der Ausflußgeschwindigkeit hängen nicht von der Klebrigkeit ab, weil der Alkohol nicht so geschwind als das Wasser, und das Zuckerwasser und das Terpentinöl schneller als das Wasser fließen. Bis jetzt konnte man noch nicht die Ursache der Verschiedenheit bestimmen, welche die liquiden Körper in dieser Hinsicht zeigen.

Die Bewegung gasartiger Körper rührt von mehreren Ursachen, von der Einwirkung der Wärme, von der Bewegung der festen oder liquiden Körper, welche einen Theil ihrer Geschwindigkeit auf sie fortpflanzen, endlich von der Zusammendrückung her. Diese man-

nigfaltigen Ursachen bringen besondere Wirkungen hervor, welche in physikalischen Abhandlungen beschrieben werden. Wir führen bloß die Schlüsse an, auf welche man bei der Beobachtung geleitet wurde, auf welche Weise ein zusammengedrücktes Gas durch irgend eine Oeffnung mit dünner Wand entweiche. Man hat zuerst gefunden, daß die Ausflußgeschwindigkeit von der Differenz des äußeren und inneren Druckes und von der Dichtheit des ausfließenden Gases abhänge; bei derselben Temperatur und bei beliebigem Drucke fließt ein und dasselbe Gas in dem leeren Raume mit derselben Geschwindigkeit aus: die Ausflußgeschwindigkeiten der Gase in dem leeren Raume sind im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzeln der Dichtheiten. Alle diese Resultate sind durch eine große Menge von Versuchen bestätigt worden. Was endlich die Gase betrifft, welche durch lange Röhren ausfließen, so ist die Geschwindigkeit weit geringer, als wenn das Ausfließen durch Mündungen mit dünnen Wänden stattfindet und dies um so mehr, je länger die Röhren, je kleiner ihr Durchmesser und je größer die Geschwindigkeit ist. Wir können hier nur diese Resultate anführen, welche zu große Auseinandersetzungen erheischen würden, wenn wir es versuchen würden, auch nur einen gedrängten Begriff davon zu geben. Wir glauben, die wichtigsten Thatsachen in Beziehung auf die Schwere, die wir im Verlaufe dieses Werkes nöthig haben werden, angeführt zu haben; wir werden uns also über diesen Gegenstand nicht weiter ausdehnen.

Neuntes Kapitel.

Von den Capillarerscheinungen.

Außer der Anziehung der Massen in großen Entfernungen erwägt man auch noch die Anziehung in

kleinen Entfernungen, oder die Molekularattraktion, welcher man verschiedene Erscheinungen, unter andern das Anhängen von zwei ebenen, polirten Körpern, die man über einander gleiten läßt, und die Capillarwirkungen zuschreiben muß.

Jedesmal, wenn ein fester Körper mit einem liquiden Körper in Berührung ist, der ihn naß machen kann, so zeigt sich sogleich eine attraktive Wirkung, vermöge welcher eine Adhäsion zwischen den beiden Körpern stattfindet. Auf diese Weise verhält sich das Glas in Beziehung auf das Wasser, den Alkohol und die Oele. Diese Kraft, welche sich bei dem Contakte der festen und liquiden Körper offenbart, hat die größte Aehnlichkeit mit der der Verwandtschaften, weil sie in gewissen Fällen chemische Zersetzungen bewirken kann. So besitzen die Kohle und verschiedene poröse Körper die Eigenschaft, daß sie, wenn man sie in Wasser taucht, das durch einen Aufguß von Campecheholz, von Lackmus gefärbt ist, die färbende Materie in Folge einer größeren Verwandtschaft derselben zu dem porösen Körper als zu dem Wasser wegschaffen.

Die Capillarwirkung zeigt sich in Umständen, welche dazu dienen, die Erscheinung zu charakterisiren. Wenn man eine gläserne Röhre von einem kleinen Durchmesser oder eine Haarröhre in eine Flüssigkeit taucht, welche dieselbe naß macht, so sieht man sogleich, wie sich das Wasser in das Innere hineinstürzt und daselbst in einer Höhe schwebend bleibt, die von dem Durchmesser der Röhre und der Natur der Flüssigkeit abhängt; die Oberfläche, welche diese letztere an dem obern Theile begränzt, ist concav. Die Oberfläche der Flüssigkeit von außen erhebt sich gleichfalls über ihren Spiegel, in den Theilen, welche an die Röhre angränzen, so daß sie rings herum eine concave, ringförmige Fläche bilden. Wenn man anstatt einer Röhre eine Glasplatte eintaucht, so wird

der anliegende Theil der Flüssigkeit gebogen und erhebt sich gegen jede Fläche so, daß er eine concave, ringförmige Fläche bildet. Wenn man aber bei dem Versuche mit der Röhre eine Flüssigkeit nimmt, welche nicht naß macht, wie das Quecksilber, so gehen die Gestalt- und Stellungsveränderungen, welche die Oberfläche des Quecksilbers erleidet, in entgegengesetzter Richtung vor sich, d. h. das Quecksilber steht tiefer als sein Spiegel und seine obere Oberfläche ist convex. Der Versuch zeigt, daß eine und dieselbe Flüssigkeit in verschiedenen, homogenen Röhren, welche von derselben naß gemacht werden, auf Höhen steigt, die beinahe im umgekehrten Verhältnisse zu dem Durchmesser der Röhren stehen. Das Sinken des Quecksilbers unter seinen Spiegel richtet sich nach demselben Gesetze. Der Versuch zeigt ferner, daß sich die Höhen, auf welche verschiedene Flüssigkeiten in der nämlichen Röhre steigen, nicht in dem Verhältnisse ihrer Dichtheiten befinden, denn der Alkohol und die Oele steigen nicht so hoch als das Wasser; indessen scheinen bei einer und derselben Flüssigkeit die Differenzen des Niveau im geraden Verhältnisse mit den Dichtheiten zu stehen; wenn man vorläufig das Innere der Röhre mit einer fetten Materie bestreicht, bevor man sie in das Wasser taucht, so fällt dieses anfänglich und nimmt eine leichte Convexität an der obern Oberfläche an; es steigt sodann über seinen Spiegel, erreicht aber nie die Höhe, die es vorher hatte, und seine obere Fläche wird alsdann aus einer convexen eine concave Fläche. Dies sind die allgemeinen Erscheinungen, welche die Capillarität auszeichnen.

Lange Zeit konnte man keine genügende Erklärung von dieser Erscheinung geben. Man nahm zuerst an, daß die Luft, die nur sehr schwer und in geringer Menge in die Haarröhrchen eindringe, auf die Flüssigkeitssäule keinen so starken Druck ausübe, als der ist, welcher von der äußeren Luft herrühre, und

daß alsdann die Flüssigkeit steigen müsse. Man machte dieser Erklärung den Einwurf, daß man, da das Phänomen in dem leeren Raum stattfinde, demselben diese Ursache nicht zuschreiben könne; man antwortete darauf, daß, da der leere Raum nie vollkommen sei, die Menge Luft bleibe und nicht den nämlichen Druck im Inneren und Aeußeren der Röhre ausübe, die Phänomene der Capillarität immer stattfinden müßten. Descartes nahm, aber ohne Erfolg, zu seinen Wirbeln seine Zuflucht; aber von dem Augenblicke an, als Newton bewiesen hatte, daß die Anziehung in kleinen Entfernungen wirken könne, bezog man die Capillarität auf eine Wirkung dieser Art. Hawksbee stellte als Grundsatz auf, daß, wenn eine Haarröhre an einem ihrer Enden in Wasser getaucht würde, der an der nämlichen Stelle liegende Glasring, der durch senkrechte Kräfte auf die kleine Lamelle von Flüssigkeit wirke, die das Eintauchen mit seinem Innern in Berührung gebracht hatte, das Wasser specifisch leichter mache. Da nun der Druck dieser Lamelle auf die unter ihr liegenden Theile vermindert ist, so treibt der der umgebenden Flüssigkeit, der nun das Uebergewicht erlangt hat, die Wasserlamelle in das Innere des folgenden Ringes; da nun die beiden Ringe auf den Theil der benachbarten Flüssigkeit eine der ersten ähnliche Wirkung ausüben, so bringt der Druck des Wassers eine neue Schichte zum Steigen u. s. w. Andere Hypothesen wurden nach der Reihe aufgestellt, aber ohne irgend einen Erfolg. Jurin, dem man eine Reihe interessanter Versuche über die Capillarität verdankt, hat zuerst den Grund davon eingesehen; nach ihm rührt das Steigen des Wassers von der Anziehung des Ringes her, der unmittelbar über der Säule liegt, welche diese Flüssigkeit bildet. Folgender Versuch hat ihn darauf geleitet, diesen Grundsatz anzunehmen; wenn man zwei Haarröhrchen von verschiedenem Durchmes-

ser an ihren Enden zusammenschweißt, sie in eine Flüssigkeit taucht, und sie sodann nach und nach herauszieht, so findet man, daß das Wasser in dem Systeme der beiden Röhren auf dieselbe Höhe steigt, welche dasselbe in einer Röhre von gleichem Durchmesser mit der, welche an den oberen Theil angeschweißt ist, erreicht haben würde. Die Theorien, welche auf die des Jurin folgten, stützten sich auf das nämliche Princip, um das umgekehrte Verhältniß des Steigens und der Durchmesser der Röhren zu zeigen, da sie aber nicht alle Umstände der Erscheinung erklären konnten, so war man genöthigt, auf Abstraktionen zu kommen, die nichts weniger bezweckten, als dem Phänomene seine Allgemeinheit zu benehmen. Das einzige Mittel bestand darin, die Hypothese der Berechnung zu unterwerfen, um zu sehen, ob die gewonnenen Resultate mit den beobachteten Thatsachen übereinstimmen. Dies that Clairaut; er zog die Kräfte, welche zu Hervorbringung des Phänomens beizutragen schienen, nämlich die Schwere, die Anziebung der Moleküle der Röhre gegen die der Flüssigkeit und die Attraktionen der Flüssigkeit gegen sich selbst, in Erwägung. Er nahm überdies auf einen Umstand Rücksicht, der vor ihm aus der Acht gelassen worden war, nämlich auf die concave oder convexe Krümmung des Meniskus, welcher die Flüssigkeitssäule begränzt, je nachdem ein Steigen oder ein Fallen in der Röhre stattfindet, dessen Einfluß Jurin angegeben hatte. Obgleich Clairauts Theorie mit vielem Scharfsinne verfaßt war, so konnte sie doch nicht alle Capillarerscheinungen vollständig erklären, weil sie nämlich eine unmögliche Thatsache voraussetzte, daß die Anziehung der Röhrenwand gegen die Flüssigkeit auf merkliche Entfernungen stattfinde. Zwar zeigte sie, daß es eine unendliche Menge von Attraktionsgesetzen gebe, die man zulassen könne und welche das umgekehrte Verhältniß zwischen dem Steigen und

dem Durchmesser der Röhre geben. Aber Clairaut wählte nicht das beste von diesen Gesetzen und überließ das Verdienst dieser Entdeckung dem Laplace, welcher als Grundsatz aufstellte, daß die Wirkung der Wände auf unendlich kleine Entfernungen gehe. Laplace, welcher, wie Clairaut, die Form des Meniskus in Anschlag brachte, führte die Frage auf ihr eigentliches Gegebenes zurück, so daß er aus seiner Theorie, von welcher wir sogleich einen Begriff zu geben versuchen, alle allgemeine Erscheinungen der Haarröhrchen ableiten konnte.

Wenn eine flüssige Masse in Ruhe ist, so ist ihre Oberfläche horizontal, die Flüssigkeit übt alsdann gegen sich selbst eine eigenthümliche und von der Schwere der Erde unabhängige Wirkung aus, welche ohne die Undurchdringlichkeit der Flüssigkeit ein Niederdrücken in dieser Masse hervorbringen würde. Wenn man jetzt annimmt, daß diese Oberfläche aus irgend einer Ursache concav oder convex werde, wie dies bei den Capillarerscheinungen der Fall ist, so zeigt der Kalkül, daß die eigenthümliche Wirkung der Flüssigkeit auf sich selbst modifizirt ist. Diese Wirkung ist stärker, wenn die Oberfläche convex, und geringer, wenn sie concav ist. Man kann nun auf folgende Weise diese Wirkungen ins Auge fassen. Betrachten wir zuerst eine flüssige Masse von rechtwinklichter Gestalt, deren obere Fläche eine horizontale Ebene ist, und suchen wir die Wirkung der Attraktion dieser Masse in unendlich kleinen Entfernungen auf eine sehr dünne Säule, die in ihrem Inneren liegt und deren Richtung auf die obere Fläche senkrecht ist. Betrachten wir in dieser Säule in einer Entfernung von dieser Ebene, die geringer ist, als der Radius der Wirksamkeitssphäre der Flüssigkeit irgend einen Punkt oder ein Molekül; ziehen wir in Gedanken unter diesem Moleküle eine Ebene, die mit der oberen Ebene parallel läuft und welche in derselben Entfernung von

dem Moleküle, wie dieses von der ersten Ebene ist, so ist augenscheinlich, daß dieses Moleküle gleich stark aufwärts und abwärts von den zwei kleinen Flüssigkeitsmassen der Säule, welche zwischen den beiden Ebenen liegen, angezogen wird; aber so verhält es sich nicht mit dem Theile der kleinen Säule, der unter der in Gedanken gelegten Ebene sich befindet und dies bis auf eine Entfernung von der oberen Ebene, die geringer als der Radius der Wirksamkeitssphäre der Flüssigkeit ist. Der nämliche Schluß läßt sich bei jedem andern Moleküle, als dem soeben angenommenen, anbringen, das sich in einer Entfernung von der oberen Ebene befindet, die geringer als der Radius der Wirksamkeitssphäre ist.

Aus dem Vorhergehenden erhellt, daß, da alle Moleküle, die in einer unendlich kleinen Entfernung von der oberen Fläche liegen, von den untern angezogen werden, die Wirkung dieser Anziehung als ein Aequivalent für einen Druck angesehen werden könne, welcher auf die Grundfläche der Flüssigkeit und senkrecht auf ihre Seiten ausgeübt wird.

Wir wollen jetzt annehmen, daß die in Frage stehende ideale Säule über die obere Ebene verlängert werde und in dieser Säule ein Moleküle annehmen, das gleichfalls in einer Entfernung von der oberen Ebene liegt, die geringer als der Radius der Wirksamkeitssphäre der Flüssigkeit ist, so ist doch ganz gewiß, daß die Flüssigkeitsmasse auf das Moleküle wirken wird, um es zum Sinken zu bringen und daraus wird nothwendig ein vermehrter Druck entstehen. Wenn man nun das obige Raisonnement anwendet und sich eine Ebene denkt, die in der nämlichen Entfernung von dem Moleküle, wie die obere Ebene liegt, so sieht man, daß die Flüssigkeitsmasse, abgesehen von den Wirkungen der Schwere, dahin streben wird, die ganze Säule zum Sinken zu bringen.

Wir wollen jetzt sehen, was sich ereignet, wenn die obere Fläche convex oder concav ist. Nehmen wir zuerst die convexe. Denken wir uns eine Ebene, welche an dem höchsten Punkte der convexen Fläche die Berührungsebene bildet; augenscheinlich hat man, wenn man die Wirkung des Meniskus, der zwischen der Ebene und der convexen Oberfläche liegt, von der liquiden Masse, die von der Berührungsebene begränzt ist, abzieht, die von der convexen Oberfläche hervorgebrachte Wirkung. Nehmen wir in dem Meniskus ein Moleküle, das in einer Entfernung von dem höchsten Punkte liegt, die geringer als der Radius der Wirksamkeitssphäre der Flüssigkeit ist; ziehen wir eine gerade Linie zwischen diesen zwei Punkten und nehmen wir in der idealen Säule ein Molekül, das sich in der nämlichen Entfernung von dem Molekül des Meniskus, wie dieses von dem höchsten Punkte befindet, so wird das Molekül des Meniskus dahin streben, das Molekül des höchsten Punktes zum Sinken zu bringen, während eben dieses Molekül das in der Säule angenommene Molekül zum Steigen zu bringen suchen wird. Augenscheinlich vernichtet diese Wirkung die erstere, wie man sich leicht davon durch die Construirung des Parallelogramms der Kräfte überzeugen kann.

Die drei angenommenen Moleküle bilden ein gleichschenklichtes Dreieck, dessen Spitze das Molekül des Meniskus ist. Wenn man nun durch diesen Punkt, der als Spitze angenommen wird, auf die Grundfläche Linien in gleicher Entfernung von den Endpunkten zieht und wie oben schließt, so sieht man, daß das Molekül des Meniskus durchaus nicht im Stande ist, die Moleküle, die längs der Grundfläche des kleinen Dreiecks hinliegen, zum Steigen oder zum Sinken zu bringen. Aber eben dieses Molelül des Meniskus wird gleichfalls auf die Punkte, die unter dem in der Säule angenommenen Mole-

küle liegen, bis auf eine Entfernung, die geringer als der Radius der Wirksamkeitssphäre der Flüssigkeit ist, Wirkungen ausüben, welche dahin abzwecken, diese verschiedenen Punkte zum Steigen zu bringen; woraus folgt, daß die Gesammtwirkung des Meniskus dahin geht, diese Säule von unten nach oben zu bewegen. Nun hat man vorher gesehen, daß die flüssige Masse, welche die Ebene begränzt, die an der convexen Oberfläche die Berührungsfläche bildet, zum Zwecke hat, diese Säule zum Sinken zu bringen; es folgt daraus, daß, wenn man den Meniskus, der die Masse zum Steigen zu bringen sucht, abzieht, diese ein größeres Streben haben wird, zu sinken, so daß die Wirkung der convexen Masse der Wirkung der ebenen Masse nebst der des convexen Meniskus gleich ist. Wenn man anstatt einer convexen Oberfläche eine concave nimmt und sich immer derselben Berührungsfläche bedient, so ist es leicht, zu beweisen, daß die Wirkung des Meniskus zum Zwecke hat, die Säule zum Steigen zu bringen, so daß die Wirkung der Masse, welche eine concave Fläche begränzt, der Wirkung der ebenen Masse nach Abzug derjenigen gleich ist, welche die Wirkung des Meniskus hervorbrachte.

Wenn man jetzt annimmt, daß die Sehne, welche den Bogen der Krümmung mißt, constant bleibt, und daß die Krümmung selbst immer merklicher wird, so bildet man alsdann einen größeren Theil der Peripherie, deren Radius immer kleiner wird. Aus dieser Lage der Sache erhellt, daß die Zahl der in jedem der beiden Menisken enthaltenen Moleküle sich vermehren und daß die Wirkung der Menisken gleichfalls zunehmen werde; Laplace hat bewiesen, daß diese Wirkung im umgekehrten Verhältnisse des Radius der sphärischen Fläche sei. Wir wollen jetzt sehen, wie sich diese Theorie auf die Erklärung der Capillarerscheinungen anwenden läßt; wir werden dadurch Ge-

legenheit bekommen, von Thatsachen zu sprechen, deren man nicht erwähnt hat.

Wenn man in einer Röhre, wo die Capillarwirkung vor sich geht, in Gedanken eine senkrechte Säule, welche unendlich fein und von den Wänden der Röhre hinlänglich entfernt ist, so daß diese keinen Einfluß auf dieselbe äußern kann, absondert, und wenn an dem untern Theile diese gedachte Röhre eine horizontale Richtung annimmt und sich sodann senkrecht wieder so aufrichtet, daß sie in die Flüssigkeit außerhalb der Röhre einmündet, so ist augenscheinlich, daß das Wasser, wenn der Druck an jedem der oberen Endpunkte derselbe ist, in den beiden Säulen gleich hoch stehen werde, während es in einer von denselben steigen oder fallen wird, je nachdem der Druck in der andern Säule größer oder geringer ist; was der Fall sein wird, je nachdem die obere Fläche der Säule des Haarröhrchens concav oder convex ist. Die Flüssigkeit wird jedoch bei dem Steigen in der Röhre über ihren Spiegel die Differenz des Druckes durch die Gewichtszunahme ersetzen. Da nun Laplace durch seine gelehrte Analyse gefunden hatte, daß die Wirkung des Meniskus im umgekehrten Verhältnisse des Diameters der Röhre stehe, so wird die Höhe der Flüssigkeit dem nämlichen Verhältnisse unterworfen sein.

Man hat weiter oben gesehen, daß das Sinken des Quecksilbers in den Haarröhren nur in so weit stattfand, als ihre inneren Wände mit einer Schichte von Feuchtigkeit überzogen waren. Wenn man also vollkommen getrocknetes Quecksilber in einen Heber thut, dessen einer Schenkel ein Haarröhrchen ist, und dessen anderer Schenkel einen Durchmesser von einer gewissen Ausdehnung hat, und man an der Lampe die beiden Endpunkte schließt, nachdem man die beiden Schenkel von Luft gereinigt hat; so steigt in dem Augenblicke, wo der convexe Theil nach unten gekehrt wird,

das Quecksilber um mehrere Linien in dem Capillarschenkel.

Die Theorie erklärt vollkommen das Steigen des Wassers zwischen zwei Platten, die parallel und in einer sehr kleinen Entfernung an einander liegen; die Gränzfläche bildet in diesem Falle eine Art Furche, die einem Theile eines hohlen Cylinders ähnlich ist; der Schnitt dieses Cylinders nach einer Ebene, die auf den Flächen senkrecht ist, ist ein Kreisbogen, welcher der nämliche wie in einer Röhre ist, welche die Entfernung der beiden Platten zum Durchmesser hätte. Wenn man sich nun an dem niedrigsten Punkte der Krümmung der inneren Flüssigkeit einen senkrechten Kanal denkt, der so umgebogen ist, daß er über die Fläche der äußeren Flüssigkeit hervorragt, so ist augenscheinlich, daß die Flüssigkeit zwischen den Platten wie in den Röhren, wegen der Wirkung des Meniskus steigen wird. Laplace hat bewiesen, daß die Wirkung dieses Meniskus der halben Summe der Wirkungen der Menisken gleich sei, die von zwei sphärischen Flächen gebildet werden, wovon die eine zum Radius den des Schnittes, welchen die Figur zeigt und die andere den des Schnittes, der auf der vorhergehenden senkrecht steht, haben würde. Da aber dieser Schnitt eine gerade Linie ist, dessen Radius unendlich groß ist, so muß der Meniskus Null sein, und es bleibt nur noch die Hälfte von der Wirkung des Meniskus übrig, den die erstere Kugel bildete, während in einem Haarröhrchen, dessen Durchmesser der Entfernung zwischen den zwei Platten gleich ist, das Steigen der Flüssigkeit durch die ganze Wirkung des Meniskus vorgestellt wird. Die Flüssigkeit muß also einmal weniger zwischen den beiden Platten als in der Röhre steigen. Der nämliche Lehrsatz beweist, daß in dem Zwischenraume zwischen zwei concentrischen Röhren die Capillarwirkung derjenigen ähnlich ist, welche zwischen zwei parallelen Ebenen hervor-

gebracht wird; diese analytischen Resultate werden durch den Versuch bestätigt.

Wir wollen zu dem Falle übergehen, wo zwei Platten, die an einem ihrer Ränder vereinigt sind, zwischen sich einen kleinen Winkel bilden. Der Versuch beweist, daß in diesem Falle das Wasser auf eine ungleiche Weise in dem Raume steige, der zwischen den zwei Ebenen liegt, und um so mehr, als man Theile im Auge hat, die der Verbindungslinie näher liegen: die äußersten Punkte der liquiden Säulen gehören zu einer gleichseitigen Hyperbel. Es ist leicht zu beweisen, daß dem so sein müsse. Nehmen wir an, daß man eine Ebene durch die Verbindungslinie und die innere Flüssigkeit lege; man bekommt auf der einen Seite die Curve, welche zur Achse der Coordinaten die Verbindungslinie und zur Achse der Abscissen die Schnittlinie dieser Ebene mit dem unteren Theile der Flüssigkeiten haben wird. Nun kann man das Wasser als eine Vereinigung von kleinen Cylindern ansehen, welche zur Höhe die senkrechten Linien haben, die von der Abscissenachse bis zu dem Endpunkte der Curve gezogen sind und welche zum Durchmesser die der Ordinatenachse entsprechenden Weiten hätten. Nun müssen nach dem Gesetze, nach welchem sich das Steigen in den Haarröhrchen richtet, die Höhen der Flüssigkeit im umgekehrten Verhältnisse des Diameters der Grundflächen stehen. Da aber jede Höhe im umgekehrten Verhältnisse des Diameters der Grundfläche steht, und da die Diameter den Abscissen proportional sind, so erhellt daraus, daß die Erhebungen im umgekehrten Verhältnisse der Abscissen stehen, was das Kennzeichen der gleichseitigen Hyperbel ist, welche nothwendig die beiden vorhin erwähnten Achsen zum Asymptoten hat. Wir haben noch zu zeigen, wie man mit der Theorie des Laplace die Bewegung der Flüssigkeiten in konischen Röhren oder zwischen zwei unter einem kleinen Winkel

geneigten Platten erklären könne. Nehmen wir eine an beiden Enden offene konische Röhre und legen sie so, daß ihre Achse horizontal ist; wenn man in das Innere einen Tropfen Wasser oder Orangeöl fließen läßt, so sieht man sogleich, wie sich dieser Tropfen nach oben zieht.

Denken wir uns eine kleine Flüssigkeitssäule in irgend einer Lage; da die beiden Oberflächen dieser Säulen concav sind, so wirkt die Krümmung, welche einem kleineren Durchmesser entspricht, kräftiger, um die Säule gegen den Gipfel hinzuziehen, als die Krümmung, welche einem größeren Radius entspricht, um die Säule nach der Grundfläche hinzuziehen. In Folge einer Differenz in der Wirkung wird sich die Säule mit einer immer wachsenden Geschwindigkeit nach oben begeben müssen. Man erhält eine entgegengesetzte Wirkung mit dem Quecksilber, weil, da die äußersten Flächen convex sind und die der obern Grundfläche die größte Krümmung haben, daraus ein stärkeres Streben der Säule hervorgeht, sich nach der Grundfläche der Röhre, als nach dem Gipfel und mit einer immer abnehmenden Geschwindigkeit zu begeben. Wenn man den Gipfel der Röhre mehr oder weniger neigt, so erhält man Erscheinungen, die von der Capillarität und von der Schwere abhängen.

Die Theorie erklärt auch auf eine leichte Weise die scheinbaren Attraktionen und Repulsionen zweier kleinen Körper, die auf einer Flüssigkeit und in einer kleinen Entfernung von einander schwimmen. Wenn man zwei kleine Wachskugeln nimmt, die von dem Wasser, auf dessen Oberfläche sie gelegt werden, nicht naß gemacht werden können, und man sie einander auf eine kleine Entfernung näher bringt, so werden sie sich vereinigen. Da diese Kugeln nicht naß werden, so drücken sie nothwendig das Wasser um sie herum nieder und alsdann fängt an der Gränze der Höhlung die Flüssigkeit an, eine etwas convexe

Krümmung zu bilden. Ist die Entfernung zwischen den beiden Körpern ziemlich groß, so bleibt der Theil der Fläche, der zwischen den beiden Convexitäten liegt, wasserrecht. Daraus geht hervor, daß, da der Seitendruck, welchen die Flüssigkeit auf allen Seiten auf jedes Kügelchen ausübt, gleich ist, das Gleichgewicht nicht gestört wird; verringert sich aber die Entfernung zwischen den beiden Kügelchen, so tritt ein Augenblick ein, wo alle Flüssigkeit, die sich in dem dazwischen liegenden Raume befindet, niedergedrückt wird; alsdann erhalten die Seitendrucke das Uebergewicht und treiben nothwendigerweise die Kügelchen an einander.

Wir wollen jetzt zwei runde Körper, zwei Kügelchen, betrachten, wovon das eine naß wird, das andere nicht, wie Kork und Wachs; die Flüssigkeit wird sich um das erstere erheben und sich um das zweite vertiefen. Bringt man sie bis auf eine gewisse Entfernung einander näher, so wird, da der Druck, welcher seitwärts auf die Korkkugel von Seite des Zwischenraums wirkt, welcher sie trennt, stärker ist, als der Druck, welcher an dem entgegengesetzten Theile stattfindet, die Wachskugel wegen der Erhebung der Flüssigkeit zwischen dem Zwischenraume und der Korkkugel genöthigt sein, zurückzuweichen, wie wenn sie von der andern zurückgetrieben würde. Betrachtet man endlich zwei Körper, welche naß werden können, so laufen sie auf einander zu und vereinigen sich endlich; die Laplace'sche Theorie erklärt diese Erscheinung gleichfalls; durch Verringerung der Entfernung, welche die beiden Körper trennt, tritt ein Augenblick ein, wo das Wasser niedergedrückt ist, und da alsdann der Seitendruck die Oberhand behält, so laufen die beiden Körper zusammen.

Zwei parallele Platten, die senkrecht in das Wasser gehängt werden, sie mögen von dem Wasser naß werden oder nicht, ziehen sich merklich an, wenn man

sie hinlänglich einander nähert, so daß der geradlinichte Raum, der sie trennt, verschwindet, und die Krümmungen sich kreuzen; sie stürzen alsdann aufeinander zu, vereinigen und drängen sich; wird bloß eine der Platten naß, so findet Repulsion Statt. Diese Phänomene gehören in die Klasse der vorhin beschriebenen Erscheinungen.

Es ist leicht zu beweisen, warum ein Haarröhrchen, das nicht so lang ist, als die Flüssigkeitssäule in seinem Inneren steigen würde, dieser Flüssigkeit keinen Ausfluß gestattet, woraus eine beständige Bewegung entspringen würde: von dem Augenblicke an, wo die Flüssigkeit die Höhe der Röhre erreicht hat, wird die obere Oberfläche, die vorher concav war, convex; da diese auf die Flüssigkeit einen größeren Druck ausübt, als die ebene Oberfläche, so thut sie natürlicher Weise der aufsteigenden Bewegung Einhalt.

Nachdem Laplace die Theorie der Haarröhrchen beendigt hatte, so lud er Gay-Lussac ein, eine Reihe von Versuchen anzustellen, um zu sehen, wie weit die Resultate der Analyse durch die der Versuche bestätigt würden. Die Erhebungen und Senkungen der Flüssigkeiten in den Haarröhrchen wurden mit der Genauigkeit astronmischer Beobachtungen gemessen. Die Durchmesser der Röhren wurden durch das Gewicht der Quecksilbersäule bestimmt, die man in dieselbe hineingebracht hatte. Um vergleichbare Wirkungen zu erhalten, wurden die Röhren inwendig mit der Flüssigkeit befeuchtet, mit welcher man operirte; weil die Physiker, die sich mit dieser Frage beschäftigten, alle diese Vorkehrungen unterließen, so sind sie zu verschiedenen Resultaten in Beziehung auf die Höhe einer Flüssigkeit in Haarröhrchen gelangt. Gay-Lussac ist der Erste, welcher beständig diese Vorkehrungen bei den Versuchen traf, deren Resultate folgende sind:

Bei einer Röhre von weißem Glase, deren inne-

rer Durchmesser 1,29441^{mm} betrug, war die mittlere Höhe der Wassersäule 23,1634^{mm}, die Temperatur war 8°; addirt man zu dieser mittleren Höhe das Sechstel des Durchmessers der Röhre, so bekommt man 23,3791^{mm}. In einer andern Röhre von 1,90381^{mm} im Durchmesser und bei derselben Temperatur, betrug das Steigen 15,5861^{mm}, addirt man das Sechstel des Diameters dazu, so erhält man 15,9034^{mm}. Diese beiden Resultate zeigen uns, daß die korrigirten Erhebungen beinahe die reciproken Verhältnisse des Diameters der Röhren sind. Nach Laplace wird die angezeigte Korrektion durch das Anhängen der Flüssigkeit an der Wand der Röhre, welche die Erhebung ihr Maximum nicht erreichen läßt, nothwendig gemacht.

Gay-Lussac hat auch die Erhebung des niedrigsten Punktes von der Oberfläche des Wassers bestimmt, der sich zwischen zwei Glasplatten erhebt, die senkrecht und parallel, einander sehr nahe gebracht, in eine Flüssigkeit eintauchen. Bei einer Entfernung von 1,069^{mm} gab der mittlere von fünf, unter sich nicht sehr verschiedenen Versuchen, eine mittlere Höhe, die 13,574^{mm} gleich ist. Als er mit Alkohol operirte, so fand er, daß die korrigirten Erhebungen in verschiedenen sehr engen Haarröhrchen im umgekehrten Verhältnisse des Durchmessers der Röhren stehen, und durch mehrere Versuche, daß das Gewicht einer Wassersäule, die in dem Augenblicke aufgehoben wurde, wo sie sich losmachen wollte, 59,40 Gr. betrage. Um die nämliche Glasscheibe vom Alkohol loszumachen, mußte man ein Gewicht von 31,08 Gr. bei derselben Temperatur und bei einem Alkohole anwenden, der eine specifische Schwere von 0,81961 hatte; mit Alkohol von einer Dichtheit von 0,8595 war bei derselben Temperatur die Erhebung in der ersten Röhre mit Rücksicht auf die Korrektion 9,51649^{mm} und das Gewicht, um die

Scheibe von der Oberfläche des Alkohols wegzubringen, 32,87 Gr. Mit Alkohol zu 0,94153 erhob sich die Flüssigkeit in derselben Röhre auf 9,99727^{mm} und die Adhäsion der Scheibe betrug 37,152 Gr. Als er mit Terpentingeist operirte, dessen Dichtheit 0,869458 betrug, war die Höhe der Säule in der ersten Röhre 10,16729^{mm}, mit der Korrektion und Adhäsion wurde gefunden 34,104 Gr. Die Scheiben verschiedener Substanzen, die von derselben Flüssigkeit naß werden, setzen bei gleichen Durchmessern ihrer Trennung von dieser Flüssigkeit denselben Widerstand entgegen; der Widerstand ist gleich der Adhäsion der Flüssigkeit unter sich selbst. Dieses Resultat ist von Gay-Lussac mit einer Scheibe von Glas und von Kupfer bestätigt worden. Wenn die Flüssigkeit die Scheiben befeuchtet, so kann man durch den Versuch nur das Maß der Attraktion der Flüssigkeit unter sich selber erhalten; werden aber die Scheiben nicht vollkommen naß, so bringt das Reiben, das die Flüssigkeit an der inneren Fläche bewirkt, große Verschiedenheiten in den Resultaten hervor, wie man dies fand, als man mit Glasscheiben und Quecksilber operirte.

Kehren wir zu der Theorie des Laplace zurück, welche in den Jahren 1806 und 1807 erschien, um die Modifikationen besser anzugeben, welche man an derselben anbringen zu müssen glaubte. Dieser berühmte Mathematiker hatte gezeigt, daß man die Wirkung der Moleküle der Röhre auf die der Flüssigkeit und die gegenseitige Wirkung der Moleküle der Flüssigkeit, die, wie nach einem von dem Contakte an bis auf eine unmerkliche Entfernung, wo sie ganz verschwinden, unbekanntem Gesetze, sehr schnell abnehmen, erwägen müsse und daß diese Kräfte sich nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung richten. Auf diese Weise erhielt er die Gleichung der Oberfläche in ihrem Zustande des Gleichgewichtes.

Th. Young hatte die Unveränderlichkeit des Winkels, unter welchem die Capillaroberfläche die der Röhre schneidet, und das Verhältniß gefunden, welches zwischen der Erhebung der Flüssigkeit in einer Röhre von sehr kleinem Durchmesser und ihrer Adhäsion an einer Scheibe, die aus derselben Substanz, wie die Röhre bestand; er erhob gegen die Theorie des Laplace mehrere Einwürfe, wovon zwei von den Mathematikern in Erwägung gezogen wurden. Der eine ist der, daß Laplace die Einwirkung der Wärme bei der Berechnung der Molekularkräfte nicht in Anschlag gebracht habe, und der andere ist aus einem Versuche genommen, der sich auf den Fall von mehreren in einer Röhre über einander befindlichen Flüssigkeit bezieht. Um die von der Wärme entstehende Repulsion in Anschlag zu bringen, sagt Poisson, habe man nur, in Beziehung auf die gegenseitige Wirkung zweier Moleküle den Ueberschuß der Attraktion ihrer wägbaren Materie über die Repulsion ihrer Wärmemenge zu nehmen und demnach die Funktion zu erwägen, die sie als eine Größe bezeichnet, welche in der Ausdehnung ihrer wahrnehmbaren Werthe das Zeichen verändern kann.

Laplace hatte in seinen Berechnungen einen wichtigen physischen Umstand, die schnelle Veränderung an Dichtheit, ausgelassen, welche die Flüssigkeit an ihrer freien Oberfläche und an der Wand der Röhre erleidet und ohne welche die Capillarerscheinungen nicht stattfinden können. In dieser Beziehung drückt sich Poisson folgendermaßen aus:

„In dem Zustande des Gleichgewichtes wird jede unendlich dünne Schichte einer Flüssigkeit auf gleiche Weise auf ihren beiden Flächen durch die repulsive Wirkung der benachbarten Moleküle zusammengedrückt, und um ihre Attraktivkraft vermindert, oder man kann sie, was dasselbe ist, betrachten, als stütze sie sich auf den Theil der Flüssigkeit, der auf der einen

Seite liegt und werde von dem Theile zusammengedrückt, der auf der entgegengesetzten Seite liegt, und ihr Grad der Verdichtung wird durch die Größe ihrer zusammendrückenden Kraft bestimmt. In einer merklichen Entfernung von der Oberfläche der Flüssigkeit rührt diese Kraft von einer Schichte der Flüssigkeit her, die an der unendlich dünnen Schichte liegt, deren Dicke vollständig und überall dieselbe, d. h. dem Radius der Thätigkeit der flüssigen Moleküle gleich ist, und aus diesem Grunde ist die untere Dichtheit auch constant, abgesehen von der kleinen Verdichtung, welche von der Schwere herrührt, die mit der Entfernung von der obern Fläche verschieden ist; ist aber diese Entfernung geringer, als der Radius der Molekularthätigkeit, so ist auch die Dicke der Schichte, die über derjenigen liegt, die man betrachtet, kleiner als dieser Radius. Die zusammendrückende Kraft, die von dieser obern Schichte herrührt, nimmt mit der Entfernung von der Oberfläche alsdann sehr schnell ab und verschwindet an der Oberfläche selber gänzlich, wo die unendlich dünne Schichte nur noch durch den atmosphärischen Druck zusammengedrückt wird. Demnach nimmt die Verdichtung der Flüssigkeit gleichfalls nach einem unbekannten Gesetze in dem Verhältnisse ab, als man sich ihrer freien Oberfläche nähert und ihre Dichtheit ist an dieser Oberfläche und bei einer Tiefe, die ein klein wenig den Wirksamkeitsradius ihrer Moleküle übertrifft, sehr verschieden, was hinreicht, um der unteren Dichtheit der Flüssigkeit gleich zu sein."

Poisson bewies, daß, wenn man diese schnelle Veränderung der Dichtheit in der Dicke der oberflächlichen Schichte aus der Acht lasse, die Capillaroberfläche eben und horizontal bleibe. Er bewies die Nothwendigkeit, auf das veränderliche Zusammendrücken, welches die Flüssigkeit in der Nähe der Röhrenwand erleidet und das sich bis an die Gränze

der von diesem festen Körper ausgeübten Wirkung erstreckt, Rücksicht zu nehmen. Mit Rücksichtnahme auf diese Angaben gab er die Gleichung, die allen Punkten der Berührungsoberfläche von zwei übereinanderbefindlichen und in irgend einer Röhre enthaltenen Flüssigkeiten gemeinschaftlich ist, und die besondere Gleichung, für ihre Umfangspunkte, was als einen besondern Fall die Gleichungen umfaßt, die auf die freie Oberfläche einer einzigen Flüssigkeit Bezug haben. Er hat sodann diese allgemeine Gleichungen auf das Gleichgewicht der Flüssigkeiten in den Röhren von einem sehr kleinen Durchmesser angewandt.

Von der Capillarität bei den Gasen.

Dobereiner hat entdeckt, daß das Wasserstoffgas, das in Gefäßen von rissigem Glase und über Wasser enthalten ist, aus dem Gefäße durch die Ritzen entweicht und auf diese Weise dem Wasser gestattet, in das Gefäß zu steigen. Die Höhe von diesem beträgt oft acht Centimeter über dem äußeren Spiegel. Er schrieb diese Erscheinung einer Capillarwirkung der beiden getrennten Flächen des Glases zu; da aber das Wasserstoffgas das einzige ist, welches diese Eigenschaft besitzt, so nahm er an, daß sie davon herrühre, daß die Moleküle des Wasserstoffgases kleinere Dimensionen haben, als die Moleküle der andern Gase, während sie zu gleicher Zeit durch die Wirkung der Wärme ausgedehnter seien.

Magnus war der Meinung, daß das Sauerstoffgas der umgebenden Luft, das zu gleicher Zeit mit dem Wasserstoffgase eindringe und diese beiden Gase, die sich in der Ritze in Folge der Capillarität verdichten, Wasser das Entstehen geben, das verdampft, und daß, da diese Erscheinung unaufhörlich war, die Wirkungen vor sich gingen, wie wenn der Wasserstoff durch die Ritze entwiche. Um zu prüfen, wie

weit diese Behauptung gegründet sei, nahm Magnus ein gläsernes zersprungenes Gefäß, das mit Wasserstoffgas gefüllt und über Quecksilber gesperrt war. Dieses Gefäß war mit einer andern gläsernen Glocke umgeben, die gleichfalls in das nämliche Quecksilberbad eintauchte. Der Spiegel des inneren Gefäßes war höher als der des äußeren Gefäßes, um die Spiegelverschiedenheit leichter zu beobachten. In dem Falle der Wasserbildung hatte sich das Volumen des Wasserstoffs zu gleicher Zeit mit dem Volumen der atmosphärischen Luft der einhüllenden Schichte vermindert. Der Versuch zeigte, daß das Quecksilber in dem inneren Gefäße stieg, während das in der äußeren Glocke in dem nämlichen Verhältnisse sank, als das andere stieg; was augenscheinlich beweist, daß das Wasserstoffgas durch die Ritze ohne die Vermittlung des Sauerstoffgases entwich. Dobereiners Versuch ist auf eine andere, umgekehrte Weise wiederholt worden; das innere Gefäß ist mit atmosphärischer Luft und das äußere mit Wasserstoff gefüllt worden. Man fand Erscheinungen, die den vorhergehenden analog waren. Das innere Gefäß wurde mit Wasserstoff, die Glocke mit kohlensaurem Gase gefüllt; die Erscheinungen waren die nämlichen wie bei der atmosphärischen Luft. Da nun keine Wirkung zwischen dem Wasserstoffe und dem kohlensauren Gase stattfindet, so muß man daraus schließen, daß die Verwandtschaft in Hervorbringung der Erscheinung keinen Antheil hat. Magnus suchte sie dadurch zu erklären, daß er sie einer Art von Verdampfung zuschrieb; wir halten uns aber an die Capillarwirkung, welche nicht in Zweifel gezogen werden kann.

Die Capillarerscheinungen werden auch noch in ihren Beziehungen zu den Erscheinungen der Endosmoose und Exosmoose untersucht, deren hier keine Erwähnung geschah, weil sie der Gegenstand eines besonderen Kapitels sein werden, in welchen sie mit

allen ihrer Wichtigkeit gebührenden Ausführlichkeiten behandelt werden, wenn wir von der Aufsteigung des Saftes in den Pflanzen und im Allgemeinen von der Circulation der Flüssigkeiten in Gefäßen sprechen werden, die durch Scheidewände von einander getrennt sind.

Zehntes Kapitel.

Von der Akustik.

Von dem Schalle, seinem Maße, seiner Fortpflanzung, seiner Geschwindigkeit und seiner Intensität.

Ehemals beschäftigte sich die Akustik nur mit dem Schalle oder mit Schwingungen, die von dem Gehöre wahrgenommen werden können; heutzutage ist aber dieser Zweig der Physik beträchtlich erweitert worden, weil man auch noch das Studium der Schwingungen darunter versteht, die aus den molekularen Eigenschaften der Körper unabhängig von der Empfindung entstehen, die sie auf das Gehör hervorbringen. Besonders muß uns dieser letztere Theil der Akustik interessiren, weil er uns Principien liefert, auf die wir uns berufen werden, um die Molekularbeschaffenheit der Körper zu studiren.

Die Alten besaßen, wie wir schon gesagt haben, einige Begriffe über die Art und Weise, wie sich der Schall in der Luft fortpflanzt; Pythagoras und Aristoteles wußten z. B., daß der Schall vermittelst der Luft in unsere Ohren fortgepflanzt wird. Sie hatten auch Begriffe über die Natur der Harmonie. Pythagoras hatte einen interessanten Versuch über die Verhältnisse der Töne angestellt. Man findet in Vitruv verschiedene Stellen, welche beweisen, daß man das kannte, was auf die Schallwellen, auf

die Verstärkung und auf die Reflexionen des Schalles Bezug hat. Demungeachtet existirte die Akustik noch nicht als Wissenschaft, bevor sich Baco, Galilei, Marsenne und Wallis mit der Erforschung der Gesetze der Erscheinungen abgaben, welche diesen Theil der Physik bilden.

Newton hat zuerst gesucht, die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft der mathematischen Analyse zu unterwerfen. Dieser große Mann nahm an, daß die Luft ein ausnehmend elastischer Körper sei, und daß die Wirkung irgend eines Stoßes darin bestehe, sie in der Richtung dieses Stoßes zu verdichten; der angestoßene Theil, der seinerseits rückwirkte, stieß den Theil zurück, der ihn aus der Stelle gebracht hatte, und trieb zu gleicher Zeit denjenigen fort, der auf der entgegengesetzten Seite war, so daß jedes Molekule abwechslungsweise vor- und rückwärts ging. Er hat indessen in seine Theorie Irrthümer gebracht, die von Crammer bemerkt und von Euler und Lagrenge verbessert wurden.

Der Schall wird durch Schwingungen oder aufeinanderfolgende, mehr oder weniger anhaltende Erschütterungen hervorgebracht: diese Schwingungen theilen sich allen Körpern mit, mit welchen der erschütterte Körper in Berührung ist, so wie auch der Luft, welche zur Vermittlerin dient, um zu dem Gehörorgane zu gelangen.

Die Empfindung des Schalls hängt also von den Bewegungen ab, welche dem Trommelhäutchen durch Vermittlung der Luft oder der Flüssigkeiten, in welchen es sich befindet, mitgetheilt werden. Savart hat diese Thatsache, welche seit langer Zeit a priori angenommen war, dadurch bewiesen, daß er zeigte, daß die Figuren, welche von dem Sande auf den großen Membranen hervorgebracht wurden, gleichfalls auf denen von einem kleinen Durchmesser stattfinden. Da der Schall mehr oder weniger hoch ist, je nachdem die

Zahl der Schwingungen mehr oder weniger schnell ist, so war es unerläßlich, genaue Mittel zu haben, um die Zahl der Schwingungen, welche einen Schall hervorbringen, zu messen.

Marsenne hatte diese Zahl nach dem Gesetze der Länge der Saiten bestimmt, welche eine Anzahl von Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse dieser Länge gibt; dieses Verfahren enthält Ursachen zu Irrthümern. Die Saite nimmt beim Schwingen eine drehende Bewegung an, welche ihre Schwingungen modifizirt; bei dem Verkürzen einer Saite wird der Schall immer höher, als er sollte, weil die Biegsamkeit, welche von den Mathematikern als vollkommen angenommen wird, gar nicht existirt, und weil sich die Steifheit einer auch sehr feinen Saite, in dem Verhältnisse wahrnehmen läßt, je kürzer diese Saite wird; endlich stören auch noch die Verhältnisse der Stoffe, woraus das Instrument besteht, das zu dieser Art von Versuchen bestimmt ist, dieses Resultat durch den Einfluß, den die Reaktion der mitgetheilten Schwingungen auf die der Saite ausübt.

Chladni hat zu Bestimmung eines Schalles, wovon die Zahl der Schwingungen bekannt ist, das Gesetz der Stäbe angenommen, bei welchen die Zahl der Schwingungen im umgekehrten Verhältnisse der Quadratwurzel ihrer Länge zunimmt; diese Bestimmung ist aber nicht genau.

Prony hat zur Grundlage das Gesetz der Spannung durch Gewichte angenommen; dieses Verfahren ist gleichfalls verworfen worden, weil ein von einem Gewichte gespannter Faden nicht dieselbe Länge behält und sehr lange sich zu verlängern fortfährt, besonders wenn man sehr starke Gewichte anbringt.

Cagniard Latour hat seine Sirene angewandt, ein Instrument, das ganz geeignet ist, den Schall zu messen, das aber nur in soweit vollständig war,

als man es vermittelst eines stetigen und regelmäßigen Luftstrahls seinen Dienst versehen lassen konnte. Dieser zweite Theil des Problems ist mit dem Dépenseur des Bocquillon gelöst worden. Die Sirene wird heutzutage von allen Physikern allgemein angenommen.

Savart wandte einen Apparat mit vier gezahnten Rädern an, von welchen das eine zweihundert Zähne, das zweite zweihundert fünfzig, das dritte dreihundert und das vierte vierhundert Zähne hatte, welche die Empfindung eines Tones in seiner Terz, Quint und Oktav erzeugten, wenn man diese Zähne mit irgend einem Körper anschlug, während sie alle sich in einer rotirenden Bewegung befanden. Man machte diesem Apparate einige Vorwürfe, weil es beinahe unmöglich sei, eine nicht wechselnde Drehungsweise zu erhalten. Darum benützte Savart zu seinen Versuchen, um die Schwingungszahlen zu finden, vorzugsweise die Saiten einer Violine oder einer Baßgeige. Tartini hat mit Hülfe seiner Pulsschläge ein Verfahren angegeben, mit dessen Hülfe man auch die Schwingungszahlen eines Tones bestimmen kann. Dies sind die verschiedenen Mittel, welche zur Bestimmung der Schwingungszahlen dienen, welche die Töne bilden. Wir wollen nun zu den verschiedenen Ursachen übergehen, welche sie erzeugen.

Wenn die Luft sich plötzlich, in Folge einer Verschiedenheit des Druckes, in eine Höhlung stürzt, so verdichtet sie sich in derselben augenblicklich durch ihre erlangte Geschwindigkeit, und da ihre Elasticität ihr eine Rückwirkung verleiht, so bilden sich Wellen, welche sich wechselseitig ausdehnen und verdichten, und welche, indem sie sich bis an unsere Ohren fortpflanzen, dort einen Eindruck hervorbringen, der von der Geschwindigkeit dieser Wellen abhängt. Die Platzblase und das Volta'sche Pistol erzeugen derartige Wellen.

Der Schall kann ferner durch aufeinanderfolgende

Abwechslung des Weges und Unterbrechung der Luft, des Wassers hervorgebracht werden, wie die Sirene, welche in der' Luft und im Wasser ihre Wirkungen verrichtet, uns ein Beispiel davon liefert: und das Windrädchen, welches die Oeffnung eines Heronsballs öffnet und schließt, ist ein anderes Beispiel. Nun kommen Instrumente, welche geeignet sind, Töne außer den Saiten, den freien Mundstücken hervorzubringen, der Apparat des Labarre, die Sirene des Hachette, die Stimmritze aus Stahl und Kautschuk des Cagniard. Man stellte ziemlich ausgedehnte Untersuchungen über die tiefsten und höchsten Töne an, die das Ohr noch wahrnehmen kann. Der tiefste Ton, der in der Musik angewandt wird, wird durch zweiunddreißig Schwingungen erzeugt, aber diese Gränze kann erweitert werden, denn man kann sich gleichbleibende Töne von zwölf Schwingungen auf die Sekunde dadurch erhalten, daß man stärkere Stöße hervorbringt, damit die Dauer jedes Schlages auf das Organ bis zum Augenblicke fortwirke, wo sich der folgende Schlag wahrnehmen läßt. Was die Gränze des höchsten Tones anbetrifft, so hat man sie noch nicht positiv bestimmen können.

Wollaston behauptete, daß sehr hohe Töne, wie der Schrei der Fledermaus, für gewisse Ohren nicht wahrnehmbar wären, und daß man über mehr als zweiunddreißigtausend Schwingungen hinaus die Töne nicht mehr höre, welche mehrere Thiere indessen noch sehr gut wahrnehmen. Savart ging vermittelst seines Apparates mit gezahnten Rädern über diese Gränze hinaus; es gelang ihm, dadurch Töne von zweiunddreißigtausend und sogar achtundvierzigtausend Schwingungen zu empfinden.

Ehemals schenkte man dem Schalle, welchen man **Geräusch** nennt, keine Aufmerksamkeit, weil man annahm, daß er in keiner Beziehung zu den musikalischen Tönen stehe; aber dieses Geräusch, das

immer aus mehreren Tönen besteht, kann von dem Ohre wahrgenommen werden, besonders wenn man mehrere Geräusche derselben Art mit einander vergleicht. Es ist für das Gehörorgan hinreichend, daß ein Ton aus einer sehr geringen Anzahl von Stößen oder wechselseitigen Zusammenpressungen und Ausdehnungen entsteht. Zwei dieser Stöße, welche in einer kurzen Zeit erzeugt werden, bestimmen einen wahrnehmbaren Ton. Es ist jetzt ganz begründet, daß das Geräusch das Produkt von Schwingungen ist, welche denen ähnlich sind, welche die musikalischen Töne begründen; der einzige Unterschied besteht in der Kürze der Schwingungsdauer oder in der verworrenen Mischung einer großen Anzahl von Tönen.

I. Von der Fortpflanzung und Geschwindigkeit des Schalles.

Es ist noch nicht völlig bewiesen, obgleich es wahrscheinlich ist, daß die Fortpflanzung und die Geschwindigkeit für die hohen und tiefen Töne dieselben sind. Marian glaubte bei einem mit Glocken angestellten Versuche wahrzunehmen, daß der hohe Ton schneller als der tiefe Ton ankomme; aber auf der anderen Seite hat man schon lange bemerkt, daß, wenn man ein Concert in großen Entfernungen hört, man zugleich das Maß und die Harmonie wahrnimmt, d.h. alle Accorde, was nur durch die Annahme möglich ist, daß alle Töne dieselbe Geschwindigkeit haben.

Man kann unter den Physikern, welche sich damit beschäftigt haben, die Geschwindigkeit des Schalles zu bestimmen: in Frankreich den P. Marsenne, Cassini, Huyghens, die Mitglieder der Akademie der Wissenschaften im Jahr 1738 und die Mitglieder des Längenbureau im Jahr 1822; in England Walker im Jahr 1698, Flamsteadt, Halley und Derham im Jahr 1704; in Italien die Mitglieder der Akademie

del Cimento im Jahr 1660 und Blanconi im Jahr 1440; in Deutschland Meyer im Jahr 1778, Müller im Jahr 1791 und Benzenberg im Jahr 1809; in den Niederlanden Mohl, van Beck im Jahr 1823; in Amerika la Condamine im Jahr 1740 und Espinosa de Banza im Jahr 1794 anführen.

Die Resultate, welche von allen diesen Physikern erhalten wurden, zeigen ziemlich beträchtliche Differenzen.

Im Jahr 1738 bestimmten die Mitglieder der Akademie der Wissenschaften die Geschwindigkeit des Schalls zwischen Montlhery und Montmartre, die von einander 29,000 Meter entfernt sind; das Zeichen wurde durch Kanonenschüsse gegeben, und Beobachter, welche an den verschiedenen Orten in gerader Linie aufgestellt waren, bemerkten die seit der Erscheinung des Lichtes bis zu der Ankunft des Schalls verflossene Zeit. Man leitete aus diesen Versuchen folgende Resultate ab: 1) die Geschwindigkeit des Schalls ist gleichförmig, d. h. daß im Allgemeinen der durchlaufene Raum der Zeit proportional ist; 2) die Geschwindigkeit ist die nämliche, ob die Witterung trüb oder heiter, hell oder nebelig, ob der atmosphärische Druck groß oder klein ist, wenn nur die Luft ruhig ist; daß jedoch, wenn die Luft vom Winde bewegt wird, die Geschwindigkeit des Windes, welche nach der Richtung der Schalllinie zerlegt wird, die Geschwindigkeit des Schalles um ihren ganzen Werth vermehrt oder vermindert; 3) die Geschwindigkeit des Schalles ist bei der Temperatur von 6 Gr. 337^{m},18 auf die Sekunde.

Die im Jahre 1822 von dem Längenbureau zu Paris angestellten Versuche nehmen an, daß die Geschwindigkeit des Schalls 340^{m},88 auf die Sekunde, bei einer Temperatur von 16 Centesimalgraden sei. Diese Versuche wurden ebenfalls mit Kanonen angestellt, welche zu Montlhery und Villejuif aufgestellt

waren. Die Meinungen über die Anwendung der Kanone, um die Geschwindigkeit des Schalles zu messen, sind getheilt. Einige Physiker meinen, daß die Explosion die Schwingungen stören könne.

Wir haben früher gesagt, daß Newton den analytischen Ausdruck der Schallgeschwindigkeit gab, aber dieser Ausdruck gab nur $^5/_6$ von der durch den Versuch erhaltenen Geschwindigkeit. Laplace hat diese Differenz dadurch erklärt, daß der Schall sich in einem beliebigen Mittel nicht fortpflanzen könne, ohne die Moleküle dieses Mittels zusammenzupressen, und ohne demnach eine Wärmeentwicklung zu erzeugen. Diese entwickelte Wärme modifizirt das Gesetz der Elasticität und beschleunigt die Fortpflanzung des Schalls. Bei der Temperatur von 10 Grad ist die durch die Theorie bestimmte Schallgeschwindigkeit 337,21, während der Versuch 340,88 gibt. Laplace hat ebenfalls die Schallgeschwindigkeit in den liquiden und in den festen Körpern berechnet, wie man später sehen wird.

Die Intensität des Schalles muß im Verhältniß der Entfernung vom Erschütterungsmittelpunkte abnehmen; denn wenn die schallende Masse mit einer großen Schnelligkeit in dem Verhältnisse als sie sich von diesem Mittelpunkte entfernt, zunimmt, so muß die Amplitüde der Schwingungen der Luftmoleküle sich in der nämlichen Zeit vermindern. Was sehr große Distanzen anbelangt, so beweist man durch den Kalkul, daß die Geschwindigkeit der Luftmoleküle, welche auf demselben Schallradius liegen, im umgekehrten Verhältnisse mit den Entfernungen von dem Erschütterungsmittelpunkte stehen, woraus folgt, daß die Intensität des Schalles auf demselben Radius im Verhältniß zum Quadrat der Entfernung abnehme. In dem Falle, wo die Art der Erschütterung des schallenden Körpers nicht in allen Richtungen die nämliche ist, ist es klar, daß die Intensität des Schalles

nicht dieselbe an allen Punkten bei gleicher Entfernung von dem Körper sein kann.

Delaroche, welcher untersuchte, wie der Wind die Gesetze der Fortpflanzung des Schalles modifizire, erhielt folgende Resultate: 1) Der Wind hat keinen wahrnehmbaren Einfluß auf die Schalle, welche auf große Entfernung gehört werden; 2) bei einer großen Entfernung hört man den Schall weit weniger in einer dem Winde entgegengesetzten Richtung, als in der Richtung des Windes selbst; der Unterschied nimmt mit der Entfernung zu; 3) das Gesetz der Abnahme der Intensität des Schalles geht in der Richtung des Windes weniger rasch vor sich, als in der dem Winde entgegengesetzten Richtung; 4) diese Abnahme geht minder rasch in einer zur Richtung des Windes senkrechten Lage vor sich als in seiner Richtung.

Die Intensität des Schalls ist zu gleicher Zeit mit der Dichtheit der Luft in dem Orte, wo er entstand, verschieden. Der Kalkul zeigt außerdem, daß bei constanter Temperatur die Intensität des Schalls an einem Orte nur von der Entfernung, welche er durchlaufen hat, und von der Dichtheit der Luftschichte, woher er gekommen ist, abhängt. Man beobachtete schon lange und Humboldt bestätigte diese Thatsache, daß die Intensität des Schalls bei Nacht vermehrt wird; daß die Zunahme in den Ebenen größer ist als auf den hohen Plateau's, mehr auf den Continenten als auf dem offenen Meere. Viele Ursachen können bei der Erzeugung dieses Phänomens mitwirken, unter anderem, daß bei Nacht tausend verschiedene und verworrene Geräusche nicht gehört werden, welche bei Tage die Luft in Erschütterung setzen.

Von der Reflexion der Schallwellen.

Jedesmal, wenn die Schallwellen von einem Mit-

tel in ein anderes übergehen, so erleiden sie eine theilweise oder totale Reflexion, je nachdem dieses Mittel einen Theil der Luft durchgehen läßt oder ihm einen festen Widerstand entgegenstellt, auf diese Art entstehen die Echo. Das Gesetz dieser Erscheinung ist das nämliche, wie das, welches die Reflexion des Lichtes bestimmt.

Der Versuch zeigte, daß es nicht nöthig ist, daß die reflektirende Oberfläche hart und polirt sei. So bilden auf dem Meere die Wolken mannigmal Echo, so wie die Segel eines entfernten Schiffes.

Die Schallwellen werden ebenfalls in einer unbewölkten Atmosphäre reflektirt, wenn nicht alle Theile auf gleiche Weise erwärmt sind. In diesem Falle bildet sich eine Menge aufsteigender warmer und herabsteigender kalter Ströme, welche, da sie nicht gleiche Dichtheit haben, sich in den Zuständen befinden, welche der Erzeugung der Echo's günstig sind. Es entstehen daraus eine Menge theilweiser Reflexionen, welche die Intensität des Schalles merklich vermindern.

Humboldt schreibt dieser Ursache die Differenz zu, welche man in der Fortpflanzungsart des Schalles während des Tages und während der Nacht beobachtet. Indem der Schall an den Gebirgen und an den Gebäuden reflektirt, so erzeugt er die Echo's, sie erzeugen sich in dem Ohre eben so oft, als er reflektirt wird.

Jedesmal, wenn der Schall an eine Ebene, ein Gebäude anschlägt, so wird er in derselben Richtung und mit derselben Intensität zurückgeworfen, als ob die Erschütterung hinter der Ebene in einer Entfernung stattgefunden hätte, die derjenigen der wirklichen ursprünglichen Erschütterung vor der Ebene gleich ist. Wenn die reflektirende Ebene irgend eine Gestalt hat, so kann der Kalkul allein die Gestalt und die Geschwindigkeit der reflektirten Welle bestimmen. Poisson hat diese Aufgabe in verschiedenen

Fällen gelöst, aber wir können hier die Resultate, zu welchen er gelangt ist, nicht angeben.

Savart stellte interessante Beobachtungen über die Reflexion der Schallwellen an, aus welchen hervorgeht, daß, wenn diese Wellen nach einer Achse reflektirt werden, welche gegen ihren Ausgangspunkt gerichtet ist, sich längs dieser Achse, durch das Begegnen der direkten und reflektirten Wellen, ein Wellensystem bilde, welches keine fortschreitende Bewegung zu haben scheint. Das Ohr, welches die verschiedenen Punkte dieser Graden durchläuft, findet Knoten und Schwingungsmittelpunkte und Zwischenpunkte, wo die Intensität des Schalles in dem Verhältnisse zunimmt, als man einem Schwingungsmittelpunkte näher kommt. Dadurch, daß man die Lage der unbeweglichen Punkte auf der Achse bestimmt, findet man, daß die Länge dieser festen Wellen gleich der der direkten Wellen ist. Die erste Welle jedoch, die in der Nähe des reflektirten Theils gebildet wird, ist kleiner als alle anderen. Es gibt eben so viele Wellensysteme als der Körper harmonische Töne besitzt. Diese Interferenzen finden nur bei Wellen von gleicher Länge Statt. Man beobachtet ähnliche Wirkungen bei allen gleichzeitigen Tönen, die ein Geräusch machen. Savart hat aus diesen Thatsachen ein Mittel hergeleitet, einen Schall zu analysiren und die größere oder geringere Reinheit, die er besitzt, zu erkennen. Dieses analytische Mittel wendet er ebenfalls bei dem Geräusche an. Das ist noch nicht alles. Da die ebenen Oberflächen, welche die Eigenschaft besitzen, einen beliebigen Schall zu verstärken, und zwar nach der Entfernung des Körpers von der Oberfläche im Verhältniß des Grades der Schärfe des Tones; so folgt hieraus, daß, wenn man einen schwingenden Körper fortschreitend einer ebenen Fläche nähert, jeder von den Tönen, die zur Bildung des Geräusches beitragen, besonders gehört werden wird.

Wahrnehmung und Vergleichung der Töne.

Man hat vorhin gesehen, daß vier gezähnte Räder, welche die nämliche Achse und 200, 250, 300 und 400 Zähne haben, und welchen man eine rotirende Bewegung gibt, wenn sie zu gleicher Zeit angeschlagen werden, die Empfindung des vollkommenen Akkords, welchen man auf folgende Weise bezeichnet: c, e, g, c; den Grundton, die Terz, die Quint, und die Oktave geben. Wenn man jedoch anstatt dieser vier Räder acht nimmt, bei denen das Verhältniß der Zähne das der folgenden Zahlen ist:

$$1\ \frac{9}{8}\ \frac{5}{4}\ \frac{4}{3}\ \frac{3}{2}\ \frac{5}{3}\cdot\frac{15}{8}\ 2$$

so hat man die acht Grundtöne der Tonleiter: c, d, e, f, g, a, h, c. Wenn man eine Saite nach den Zahlen $1\ \frac{8}{9}\cdot\frac{4}{5}\ \frac{3}{4}\ \frac{2}{3}\ \frac{3}{5}\ \frac{8}{15}\ 1/2$ theilt, so erhält man die nämlichen Töne, weil die Schwingungszahlen der Saiten im umgekehrten Verhältnisse zu ihren Längen stehen. Dies ist die natürliche Tonleiter. Wenn man bei einer anderen Note als c anfangen will, so müssen die aufeinanderfolgenden Intervalle wie bei der vorhergehenden sein, zuerst von zwei Tönen, dann von einem halben Ton, von drei und endlich von einem halben Ton; man muß deßwegen zwischen die Töne der natürlichen Tonleiter Zwischentöne einschalten, welche nur um einen halben Ton von denselben verschieden sind. Man nennt Note mit einem Kreuze, die um einen halben Ton höhere Note, und mit einem b die um einen halben Ton niederere Note. Jedoch hat man viel darüber gestritten, um zu erfahren, wie man diese Zahlen angenommen hatte, um den Anforderungen des Ohrs genau zu entsprechen. Alles, was man weiß, besteht darin, daß diese Reihe von Tönen dem Organe angenehm ist, sogar wenn es keinen Sinn für die Musik hat. Die Note mit dem

Kreuze und mit dem b werden von den Musikern und Physikern nicht auf dieselbe Art berechnet; bei diesen hat eine Note mit dem b eine Schwingungszahl im Verhältnisse von $\frac{24}{25}$ des natürlichen Tons; sie hat ein Kreuz, wenn die Schwingungszahl $\frac{25}{24}$ desselben Tones ist. Während z. B. das c 24 Schwingungen macht, macht das c mit dem Kreuze 25 Schwingungen; und während das h 25 Schwingungen macht, macht das h mit dem b nur 24 Schwingungen. Die Musiker machen hingegen die Noten mit dem Kreuze und mit dem b größer, so daß die Schwingungszahl, welche eine Note mit dem b macht, kleiner als die der vorhergehenden Note mit dem Kreuze ist; so ist d mit dem b tiefer als c mit dem Kreuze.

Die Begriffe, welche sich auf die Bildung der Tonleiter und auf die Noten mit dem Kreuze und mit dem b beziehen, sind unerläßlich, um die Schwingungszahlen eines beliebigen Tones vermittelst einer Baßgeige oder Violine bestimmen zu können, welche die passendsten Instrumente sind, um diese Schätzungsarten sicher und rasch vorzunehmen.

Eine Bemerkung, welche wir mitzutheilen nicht vergessen dürfen, ist die, daß die Verhältnisse, welche die Schwingungszahlen der Töne einer Tonleiter und im Allgemeinen das Verhältniß der Schwingungszahlen, welche unserem Ohre keine Dissonanzen ausdrücken, einfache Verhältnisse sind. Dieses Gesetz ist ein allgemeines Gesetz der Natur; so ist z. B. das Verhältniß der Grundnote zur Oktave, ein Verhältniß, welches das Ohr leichter auffaßt, 1 : 2.

Newton fand bei seinen Versuchen über die farbigen Ringe, daß die Dicken eines und desselben Ringes, welche den verschiedenen Farben des Spektrums entsprechen, sich unter sich wie die Kubikwurzeln der Zahlen 1 $^8/_9$ $^5/_6$ $^3/_4$ $^2/_3$ $^3/_5$ $^9/_{16}$ $^1/_2$ verhalten.

Es ist bemerkenswerth, daß diese Zahlen ebenfalls die Längen der Saiten ausdrücken, welche eine Tonart zur weichen machen würden, wenn sie durch ein und dasselbe Gewicht gespannt wurden, außer daß $^5/_6$ durch $^4/_5$ und $^4/_{16}$ durch $^8/_{15}$ ersetzt wird. Die Differenz dieser Brüche ist sehr klein, da die der beiden ersten nur $^1/_{30}$ und die zweite noch kleiner ist.

Wir enthalten uns, was die Tonleiter anbetrifft, in weitere Erörterungen einzugehen, weil wir uns von dem Ziele, das wir uns gesteckt haben, zu sehr entfernen würden.

Von den Schwingungen der Luftsäulen, welche in Röhren eingeschlossen sind.

Es ist von sehr großem Interesse für die Theorie der Blasinstrumente, das zu erfahren, was bei schwingenden Luftsäulen vorgeht. Die Aufgabe ist leichter als bei den festen Körpern, wegen der Möglichkeit in die Flüssigkeit oder das Gas, das in Bewegung ist, einzudringen, weil man das, was bei festen Körpern vor sich geht, nur durch das, was man an ihrer Oberfläche sieht, beurtheilen kann. Man beweist, daß die Luft in den Röhren schwingt, dadurch, daß man nach einander mehrere Röhren von verschiedenen Stoffen, aber von derselben Gestalt an ein und dasselbe Mundstück bringt, der Schall ist immer derselbe, der Widerstand der Wände hat jedoch einen bedeutenden Einfluß; denn wenn man Röhren, deren innere Dimensionen die nämlichen sind, aber deren Dicke verschieden ist, z. B. eine Röhre von Holz und eine Röhre von Pappe, ein Blatt Papier ertönen läßt, so findet man eine große Verschiedenheit in den Tönen.

Es gibt mehrere Mittel, Schwingungen in einer Röhre hervorzubringen; aber alle haben das gemein, daß sie periodische Erschütterungen der Luft an

dem Mundstücke der Röhre erzeugen; dasjenige, dessen man sich am gewöhnlichsten bedient, ist das Mundstück der Orgelpfeifen, welches aus einem Luftstrahle besteht, welcher gegen eine Lefze gestoßen wird. Die Geschwindigkeit des Luftstrahles kann in diesem Falle die Töne der Tonleiter erzeugen, und da die Luftsäule der Röhre nur eine gewisse Reihe von Tönen hervorbringen kann, so muß die Geschwindigkeit des Luftstrahles dem Tone proportional sein, welchen man erzeugen will. Will man z. B. den Grundton einer Röhre erhalten, d. h. den tiefsten Ton, den sie geben kann, so muß man eine gewisse Geschwindigkeit anwenden, welche, wenn sie geringer ist, keinen wahrnehmbaren Ton hervorbringt, während sie, wenn sie größer ist, die Oktave gibt.

Wenn man eine Röhre einen Schall erzeugen läßt und hierauf, nachdem man das Mundstück weggenommen hat, mit der nämlichen Geschwindigkeit in dasselbe bläst, so bringt das Mundstück allein den nämlichen Ton, aber weit schwächer hervor, so daß die Röhre wirklich nur eine Ursache der Verstärkung desselben ist.

Wenn man ein ähnliches Mundstück macht, das aus einer Schneide und einer Windröhre besteht, welche aus einer kupfernen Röhre, die an einem ihrer Ende platt gemacht ist, besteht, so kann man alle Gefäße von beliebiger Gestalt, Kugeln, Würfel, offene, geschlossene, cylindrische, kreisförmige Röhren zum Tönen bringen. Die Richtung des Mundstücks ist gleichgültig, sie mag nach der Länge oder der Breite der Röhre gehen. Die Luft, welche durch irgend ein anderes Mittel erschüttert wird, kann ebenfalls eine Röhre ertönen lassen, wenn nur ihre Schwingungen mit denen übereinstimmen, die die Röhre hervorbringen kann. Wenn man in eine Röhre hineinbläst, so vernimmt man den Ton, welcher ihr eigenthümlich ist; in diesem Falle ist die Erschüt-

terungsart derjenigen des Mundstücks ähnlich, weil sich die Luft am Rande der Röhre bricht. Eine Platte, ein Stab, die schwingen, können, wenn sie auf das Ende einer Röhre gelegt werden, sie zum Tönen bringen. Die Gestalt der Mundstücke bei allen Blasinstrumenten ist sehr mannigfaltig, aber sie haben alle den Zweck, eine periodische Anwandlung der Luft zu geben. Bei den einen schwingen wirklich die Lippen, bei den andern elastische Zungen von Metall, von Schilf u. s. w. Die Substanz und die Gestalt haben allein Einfluß auf den Klang des Tones.

Man kann den Schall in Röhren durch Mittel hervorbringen, deren Wirkungsweise noch nicht hinreichend bewiesen ist, welche jedoch durch das periodische Herausfahren eines Gases, oder durch das aufeinanderfolgende Hinein- oder Herausströmen, oder durch irgend eine Bewegung der Luft an der Oeffnung, erklärt werden müssen.

Kleine Röhren von sechs oder acht Centimetern Länge, mit einer kleinen Kugel, in welche man eine sehr geringe Menge Wasser gethan hat, lassen einen sehr schönen Ton hören, wenn man die Kugel bis zur Siedhitze des Wassers erwärmt.

Die Flamme eines Stromes Wasserstoffgas bringt eine Röhre zum Tönen, wenn man ihn bis zu der geeigneten Höhe gelangen läßt, daß die Länge des Theils, welcher tönt, der Verbrennungsgeschwindigkeit des Wasserstoffgases proportional ist.

Aus allen diesen Versuchen schließen wir, daß ein periodisches Ausfließen der Luft nöthig ist, um Töne zu erzeugen. Indem man untersuchte, was bei dem Ausflusse von liquiden Körpern vorgehe, erkannte man die Ursache dieses periodischen Strömens. Wir wollen nun zu den Gesetzen der Luftschwingungen in den Röhren übergehen.

D. Bernouilli hat bewiesen, was es für eine Bewandtniß mit den Luftchwingungen habe, wenn die

Röhren cylindrisch, von einer großen Länge in Beziehung auf ihren Durchmesser sind, und wenn sie mit voller Mündung erschüttert werden, d. h. wenn die Schwingungen von denen einer Metallplatte, welche senkrecht auf der Achse steht, mitgetheilt werden. In dem Falle, wo die Röhren an einem Ende geschlossen sind, kann eine und dieselbe Röhre die Töne hervorbringen, welche Schwingungszahlen entsprechen, welche die ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 angeben; die Töne derselben Ordnung, welche von verschiedenen Röhren gebildet werden, entsprechen den Schwingungszahlen im verkehrten Verhältnisse zu der Länge der Röhren; die Töne, die man von einer und derselben Röhre erhält, entspringen aus der Theilung der Luftsäule in gleiche Theile, welche getrennt und im Einklange mit einander schwingen. Die freie Oeffnung ist immer das Mittel eines schwingenden Theiles. Die Länge eines schwingenden Theils ist gleich der Länge der Welle, welche dem erzeugten Tone entspricht. Wenn die Röhren an beiden Enden offen sind, so werden die von einer und derselben Röhre erhaltenen Töne durch die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6 dargestellt; die vorhergehenden Gesetze bleiben dieselben und die beiden Enden der Röhre sind die schwingenden Schnitte. Man hat Knotenflächen die Trennungsflächen schwingender Schnitten genannt, welche aus Theilchen bestehen, die in Ruhe sind; die Schwingungsmittelpunkte sind die Mitten der schwingenden Schnitten. Wenn die Erschütterung, anstatt an der vollen Mündung mit einem Röhrchen oder mit einem Flötenmundstücke bewerkstelligt wird, so sind die Töne tiefer, als die durch die von den Gesetzen angegebenen, welche übrigens durch den Versuch bestätigt wurden.

Wir haben früher angegeben, wie man die Geschwindigkeit des Schalls in den verschiedenen Gasen bestimme; man kann es aber auch noch durch die

Resonnanz der Röhren thun. Als Dulong, der sich mit dieser Frage beschäftigte, gefunden hatte, daß in einer und derselben Röhre, wo man verschiedene Gase tönen ließ, unter den nämlichen Umständen die Knotenlinien immer dieselben Punkte einnahmen, so folgerte er daraus, daß die Schwingungszahlen der Töne, welche dieselbe Röhre bei verschiedenen Gasen hervorbrachte, den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalls in den verschiedenen Flüssigkeiten proportional seien; als man die Geschwindigkeit des Schalls in der Luft kannte, konnte man leicht die des Schalles in den anderen Gasen berechnen.

Schwingungen der flüssigen Adern.

Der Ausfluß liquider Körper durch kreisförmige Oeffnungen in dünnen Wänden veranlaßt Schwingungssäulen. Savart machte sich ein ganz besonderes Studium aus allen Erscheinungen, welche darauf Bezug haben und die Resultate, welche er erhalten hat, sind von der Art, verschiedene Punkte der Hydrodynamik aufzuklären.

Eine liquide Ader besteht, wie man weiß, aus einem hellen, festen und stetigen Theil, und hernach aus einem trüben Theile, welcher Anschwellungen zeigt, die durch Knöten oder durch gleiche Zusammenschnürungen getrennt sind. Dieser trübe Theil ist unstetig, was man dadurch beweist, daß man einen Quecksilberstrahl macht und hinter denselben einen Körper stellt, welcher alsdann sichtbar ist, was nicht stattfindet, wenn man diesen Körper durch den klaren Theil betrachtet.

Wenn man Wassertropfen, welche durch kleine Intervalle getrennt sind, fallen läßt, so erhält man den Eindruck eines stetigen Strahles, welcher Verengungen und Erweiterungen zeigt, was beweist, daß der Wassertropfen durch das Fallen sich wechsel-

seitig abplattet und verlängert. Man macht diese Unstetigkeit des Strahls, und das Abwechseln in der Gestalt der Tropfen dadurch wahrnehmbar, daß man hinter dem trüben Theile einer Ader, eine schwarze Ebene, welche horizontale weiße Streifen trägt, bewegt. Wenn diese Ebene steigt, während der Strahl herabfällt, und wenn die Geschwindigkeit dieselbe ist, so werden die Tropfen fest erscheinen, und man kann alsdann ihre Gestalt unterscheiden.

Weil ein Strahl unstetig ist, weil er periodischen Abwechslungen unterworfen ist, so kann man ihn demnach mit einer schwingenden Saite vergleichen; nähert man sich dem Strahle wirklich mit dem Ohr, so vernimmt man eine Ton, der aber sehr schwach ist. Wenn man diesen Strahl mit einer Membrane auffängt, so erzeugt der aufeinanderfolgende Fall der Tropfen einen starken Ton, welches der Ton der Ader ist, weil er, wenn man ihn auch an sehr verschiedenen Körpern auffängt, immer derselbe bleibt. Wenn man denselben Ton durch ein Instrument sogar in einer großen Entfernung hervorbringt, so sieht man hierauf die Schwingungsmittelpunkte der Ader auf Kosten des stetigen Theils zurücklaufen und bemerkt alsdann eine große Empfindlichkeit in dem Strahle. Nur bei dem eigenen Tone der Ader findet dieses Erheben der Schwingungsmittelpunkte Statt; bei anderen, wenn auch stärkeren Tönen, kann es sich, jedoch weit schwächer, zeigen.

Das Periodische läßt sich ebenfalls auf dem klaren Theile der Ader wahrnehmen, denn wenn man einen Theil erhellt, so bemerkt man sehr regelmäßige und rasche Wirkungen, welche zeigen, was an der Mündung vorgeht. Es verhält sich ebenso, wenn der Strahl horizontal, schief oder aufsteigend ist; man bemerkt in Beziehung auf den horizontalen oder geneigten Strahl, daß, wenn man auf einem Instrument den Ton der Ader erzeugt, sie sich in

zwei oder drei Colonnen, welche in der vertikalen Ebene übereinander liegen, theilt. Die Ader, welche in ihrem natürlichen Zustande geneigt ist, nimmt mehr Raum in der Vertikal- als in der Horizontalebene ein, was zu erkennen gibt, daß die Trajectorie aller Tropfen, welche die Ader bilden, nicht dieselbe ist. Wenn der Strahl beinahe senkrecht von unten nach oben geht, so bemerkt man gleichfalls einen stetigen Theil in der Ader, sodann einen Schwingungsmittelpunkt, welcher wieder herabgeht, wenn man den Schall erzeugt, der für die Zahl seiner Stöße paßt.

Eine Ader, welche in eine Röhre fällt, wo man einen leeren Raum erzeugt hat, zeigt dieselben Eigenthümlichkeiten, wie diejenige, welche in die Luft fällt. Wenn man die Ader dadurch zwingt, sich zu öffnen, daß man ihr senkrecht eine ebene Scheibe vorhält, so bildet sich eine Einhüllungsfläche, die an dem Mittelpunkt gleichförmig, an ihrem Umfange gestreift ist, und welche durch periodische Bewegungen, welche denjenigen des trüben Theils der Ader entsprechen, bewegt wird. Indem man auf einer Membran oder auf einem dünnen Körper diesen äußeren Theil der Einhüllungsfläche auffängt, so hört man einen Ton, und wenn dieser Ton durch ein Instrument verstärkt wird, so zieht sich die Einhüllungsfläche stark zusammen und wird weit kleiner. Aehnliche Versuche wurden mit Einhüllungsflächen von allen Gestalten angestellt, indem man die Mündung, die Scheibe oder den Druck veränderte.

Schwingungen der starren Körper.

Die Untersuchungen, welche in der letzten Zeit über die Schwingungen der festen Körper angestellt worden sind, haben nothwendig ein großes Interesse für die angewandte Physik wegen der Ansichten, welche sie über die Anordnung der Moleküle in den Kör-

pern geben können. Savart ist es wirklich gelungen, die verschiedenen Achsen der Elasticität in einem und demselben Körper so wie mehrere von ihren physischen Eigenschaften kennen zu lernen. Wir werden nachher auf die Resultate, welche er erhalten hat, zurückkommen.

Die festen Körper, an welchen man die Schwingungen untersucht hat, sind Saiten, Membrane, gerade und krumme Stäbe, Ringe, volle und hohle Rotationskörper, Platten 2c.

Man unterscheidet bei den Körpern zwei Arten von Schwingungen: 1) die senkrechten Schwingungen, deren Charakter darin besteht, den auf der Oberfläche des Körpers ausgestreuten Sand senkrecht mit dem erschütterten Theile zu werfen und auf den entgegengesetzten Flächen Knotenlinien zu bilden, welche sich entsprechen. 2) Die Längenschwingungen oder Tangentenschwingungen d. h. solche, bei welchen der Sand parallel mit der erschütterten Oberfläche, ohne sie zu verlassen, fortgleitet. Die Knotenlinie, welche auf beiden gegenüberliegenden Flächen betrachtet wurden, sind abwechselnd geordnet. Die Entdeckung dieser letzten Eigenschaft verdankt man Savart, welcher die Akustik mit einer Menge wichtiger Entdeckungen bereicherte. Um Schwingungen zu erzeugen, wendet man den Bogen und das Roßhaar an, um die Platten im Mittelpunkte zu erschüttern; für die Longitudinalschwingungen, die Stöße durch Tuch, welches man mit Harz bestrichen hat, um Reibungen damit hervorzubringen. Die Mittel, welche angewandt wurden, um die Schwingungen wahrzunehmen, sind für die Saiten, die Stege, die Ringe von Papier oder von Metalldraht; für die Platten und die Stäbe der Sand.

Man erzeugt ferner Schwingungen dadurch, daß man einen, an einen andern festgemachten Körper, erschüttert, welcher auf diese Weise in Bewegung gesetzt

wird; da aber die Schwingungen immer parallel mit der Richtung der Erschütterung sind, so folgt daraus, daß man durch die Längenerschütterung eines Stabes, der an eine Lamelle oder an eine Platte gelöthet ist, daselbst normale Schwingungen hervorbringt, wenn der Stab, der longitudinal schwingt, perpendikulär zu ihrer Ebene ist, während sie Längenschwingungen erzeugt, wenn der Stab in der Verlängerung der Ebene angelöthet ist. Chladni hat noch eine besondere Klasse von Schwingungen bekannt gemacht, welche er Torsionsschwingungen nannte, welche eine oder mehrere parallele Linien auf der größeren Dimension der Stäbe oder der Cylinder liefern; Savart hat jedoch bewiesen, daß diese Art keine andere ist, als die der Tangentenschwingungen, weil sie alle Charaktere dieser letzteren haben, weßwegen er sie transversale Tangentenschwingungen nannte.

Man ist auch zur Erkenntniß der Schwingungsbewegung in den flüssigen Körpern gelangt. Tausend Versuche beweisen, daß das Wasser und die Flüssigkeiten wie die Gase schwingen. Die Sirene kann als Beweis für diese Eigenschaft der tropfbarflüssigen Körper dienen, sowie die flüssigen Adern, welche beim Ausflusse der Flüssigkeiten durch die Oeffnungen mit dünnen Wänden entweichen. Wir wollen kurz das durchgehen, was wir über die Transversalschwingungen der Saiten wissen.

Transversalschwingungen der Stäbe.

Die Gesetze dieser Schwingungen sind auf die Annahme gegründet worden, daß die Saiten vollkommen biegsam sind, und daß ihre Straffheit Null sei; aber in der Natur gibt es keine derartige Saite. Diese Gesetze sind, wie der Versuch zeigt, um so ungenauer, je dicker die Saiten sind, wie auch ihre Natur beschaffen sei. Wir geben hier die Gesetze:

1) die Schwingungszahlen einer Saite stehen im umgekehrten Verhältniß zu ihrer Länge; 2) sie sind den Quadratwurzeln der Gewichte, welche sie spannen, proportional; 3) wenn die Saiten von demselben Stoffe sind, so stehen die Schwingungszahlen im verkehrten Verhältnisse zu ihrem Durchmesser; 4) wenn die Saiten von verschiedenen Stoffen sind, so verhalten sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Quadratwurzeln ihrer Dichtheit; 5) die Schwingungen sind den Dicken proportional; 6) die Breite hat keinen Einfluß auf den Schall.

Wenn man eine Saite ertönen läßt, so vernimmt man außer dem Grundtone Töne, von denen, wenn der erste 1 ist, die andern sich nach der Reihe der natürlichen Zahlen 2, 3, 4, 5 richten, d. h. der zweite ist die Oktave des ersten, der dritte ist die Doppeltquint desselben, der vierte die doppelte Oktave u. s. w.

Man fand durch den Versuch, daß diese Erscheinung davon herrühre, daß die Saite nicht nur in ihrer ganzen Länge schwinge, sondern sich auch noch in zwei, drei, vier Theile theilt, wovon jeder für sich schwingt.

Ein transversal schwingender Stab kann sich in sechs verschiedenen Verhältnissen befinden: 1) der Stab kann an beiden Enden frei sein, in diesem Falle verhält sich die Reihe der Töne wie die Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w., wenn die Knotenzahlen 2, 3, 4, 5 sind; 2) der Stab ist an beiden Enden befestigt: die Töne verhalten sich alsdann wie die Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w.; 3) der Stab liegt an den Enden auf: die Töne verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w.; 4) der Stab ist an einem Ende frei und an dem anderen unterstützt: die Töne verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 5, 9, 13, 17 u. s. w.; 5) der Stab ist an dem einen Ende befestigt und

an dem anderen frei: die Töne verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 2, 5 bei 0 Knoten und 1 Knoten; für die folgenden Knoten 2, 3 u. s. w. verhalten sich die Schwingungszahlen wie die Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w.; 6) der Stab ist an einem Ende unterstützt und an dem andern befestigt: die Töne verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 5, 9, 13, 17 u. s. w.

Wenn die Stäbe gekrümmt sind, so zeigt der Versuch, daß der Ton niedriger ist, und dies um so mehr, je mehr die Krümmung zunimmt und je mehr sich die den Endpunkten nahe liegenden Knoten dem Krümmungspunkte nähern. Wir dürfen nicht vergessen, daran zu erinnern, daß Weber bemerkte, daß, wenn man eine Stimmgabel im Augenblicke, wo sie schwingt, sich schnell drehen läßt, der Ton sich zu erzeugen aufhört, und wieder hörbar wird, sobald man die Bewegung aufhebt. Dieses Phänomen scheint von der Centrifugalkraft abzuhängen, welche dahin strebt, die Aeste der Gabel von einander zu entfernen. Gehen wir zu den Schwingungen der Ringe mit kreisförmigen rechtwinkligen Schnitten u. s. w. über. Die Knotenzahlen sind immer gerade; die Schwingungen für den 4, 8, 10 Knoten verhalten sich wie die Quadrate der Zahlen 3, 5, 7, 9.

Savart zeigte, daß die Knotenlinien, welche auf den Flächen der Körper, die Longitudinalschwingungen machen, gebildet wurden, von abwechselnden Inflexionen herrühren, die periodisch bei jeder Längencontraktion sich erzeugen und sich bei jeder Ausdehnung verwischen; daß die Charaktere der Knotensysteme besonders von der Gestalt der Stäbe und von dem Verhältnisse ihrer Dimensionen abhänge, daß endlich die Vergleichung der Verlängerung der Stäbe, welche von den Längenschwingungen und von den Gewichten erzeugt werden, zeige, daß eine leichte molekulare Erschütterung zu einer Kräfteentwicklung Veranlassung

geben kann, welche in Betracht der Kraft, die sie hervorbringt, ungeheuer groß scheint, und welche um so ungewöhnlicher ist, als sie mit der Durchschnittsfläche proportional zu sein scheint. Bei den Stäben stehen die Schwingungen ebenfalls im verkehrten Verhältnisse zu den Längen; sie sind den Dicken proportional; die Breite übt keinen Einfluß auf den Ton aus.

Wenn die Stäbe von gleicher Natur und Länge sind, so haben sie immer denselben Ton, welches auch ihre Breite und ihre Dicke sein möge; zu diesem Ende muß man aber annehmen, daß beide Dimensionen immer viel geringer als die erste sind. Bei den Röhren und Cylindern fand Savart, daß die Knotenlinien Curven bilden, die den Schraubenlinien sehr ähnlich sind. Die innere Oberfläche der Röhren oder Cylinder zeigt ebenfalls Knotenlinien, welche den vorhergehenden ähnlich sind, sie liegen ihnen aber diametral gegenüber.

Man verdankt Poisson eine analytische Arbeit über das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer Körper, von welchem wir die Hauptresultate angeben wollen:

1) Das Quadrat der Zahl der Längenschwingungen einer Saite verhält sich zum Quadrat der Zahl ihrer Transversalschwingungen in derselben Zeit, wie ihre Länge sich zur Verlängerung verhält, welche sie durch die Spannung erlitten hat, welche sie trägt.

2) Wenn ein Stab an einem seiner Enden befestigt ist, und er nach und nach Längen- und Torsionsschwingungen macht, so ist das Verhältniß des Quadrats der Zahlen der Längenschwingungen und des Quadrats der Zahlen der Torsionsschwingungen wie 5 : 2, es ist folglich von der Länge und der Dicke unabhängig. Wenn ein cylindrischer Stab an seinen beiden Enden frei ist, so verhält sich die Zahl der Longitudinal-Schwingungen, welche

in einer gewissen Zeit hervorgebracht werden, zu der Zahl der Transversal-Schwingungen, die in derselben Zeit erzeugt werden, wie sich das Hundertfache ihrer Länge zu dem Dreihundertsechsundfünfzigfachen ihres Radius verhält. In einer Stange endlich von gegebener Länge und gegebener Dicke verhalten sich die Zahlen der Längenschwingungen zu der Zahl der transversalen Schwingungen wie das Hundertfache der Länge sich zu dem Zweihundertsechsfachen der Dicke verhält. Savart hat die Richtigkeit dieser beiden Gesetze durch den Versuch dargethan.

Schwingungen der Platten, Membrane und Glocken.

Die Platte ist entweder in ihrem Mittelpunkte oder in einem mehr oder minder von dem Rande entfernten Punkte befestigt und man erschüttert sie mit einem Bogen, der senkrecht zur Ebene ist; man nimmt sodann den Ton mit einem beliebigen Instrumente. Um die schwingenden Theile und die ruhigen Linien, welche Knotenlinien heißen, zu beobachten, streut man trockenen Sand auf die Oberfläche.

Galilei gab zuerst dieses Beobachtungsmittel an; aber Chladni eignete es sich im Jahre 1787 auf eine solche Weise an, daß man ihn als den Erfinder eines Versuchsmittels ansehen kann, welches ein weites Feld in den Forschungen der Akustik eröffnete; und mit dessen Hülfe er sehr schöne Entdeckungen machte.

Die kreisrunden Platten können ein diametrales, concentrisches und zusammengesetztes System bilden. In den quadratförmigen Platten unterscheidet man gleichfalls drei Systeme, die den vorhergehenden analog sind; eben so verhält es sich bei den dreieckigen, rectangulären, polygonalen und elliptischen Platten. Diese Figuren werden mit derselben Regel-

mäßigkeit hervorgebracht, mag auch die Natur der Platten sein, welche sie wolle, wenn nur die Elasticität in jeder Richtung die nämliche ist.

Die Membrane zeigen völlig ähnliche Schwingungsarten, wie Savart sie beobachtet hat, und er hat ferner im Laufe seiner Versuche bemerkt, daß die Membrane mit großer Leichtigkeit von einer Schwingungsart in die andere übergehe. Auf diese Weise wurde er dahin gebracht, anzunehmen und sodann durch den Versuch zu erkennen, daß es in den Schwingungen der Platten verschiedene Arten von übereinanderliegenden Bewegungen wie bei den Membranen und Saiten gebe, und er fand auch, daß die Knotenlinien fähig waren, sich zu verrücken, und daß sie in gewissen Fällen schwingen und sogar eine mehr oder minder rasche rotirende Bewegung annehmen können.

Indem Savart von dieser Folgerung ausging, gelangte er zu einer seiner wichtigsten Arbeiten in der Akustik: wir meinen zur Bestimmung der Achsen der größeren oder geringeren Elasticität in den krystallisirten und nichtkrystallisirten Körpern.

Von den Elasticitätsachsen.

Bis jetzt nahm man an, daß die Platten, Scheiben oder andere schwingende Körper vollkommen homogen seien, und daß die Knotenfiguren, welche z. B. die kreisförmigen Platten zeigen, von den festen oder erschütterten Punkten abhängen; aber es verhält sich nicht so; die Theilung in Kreuze z. B. erhält man nur in zwei bestimmten Lagen, welche 45° von einander entfernt sind, und überdies ist bei jedem dieser Körper der Ton verschieden. Dies ist besonders bei den krystallisirten Körpern und den reinen Metallen der Fall, welche eine größere Differenz des Tones hören lassen, die manchmal größer ist,

als bei dem Holze, wo die Linien Hyperbeln werden, die an den Spitzen einander entgegengesetzt sind, wenn die Erschütterung parallel mit den Holzfasern hervorgebracht wird.

Die Legirungen liefern eine geringere Differenz der Töne. Man hat bis jetzt nur zwei Körper gefunden, das Siegellack und das Holz, das in die Quere von einem Aste geschnitten wurde, bei welchen sich die Figuren nach allen Richtungen stellen, und in welchen folglich die Elasticitätsachsen identisch sind. Diese Beobachtungen über die Elasticitätsachsen veranlaßten Savart zu interessanten Forschungen über die Elasticität der Körper, welche regelmäßig krystallisiren, um neue Ansichten über die innige Struktur der Körper zu erhalten. Bis jetzt hatte man nur zwei Mittel, um diese Struktur zu untersuchen, die Spaltung bei regelmäßig krystallisirten Substanzen und die Modifikationen, welche die Fortpflanzung des polarisirten Lichtes in den durchsichtigen Stoffen erleidet. Die Spaltung zeigt bloß, daß die krystallisirten Körper Verbindungen von parallelen Lamellen mit gewissen Krystallflächen sind, ohne uns etwas über die Kraft, vermöge welcher diese Lamellen untereinander adhäriren, so wie über ihre Elasticität zu sagen. Das zweite ist viel wirksamer als das erste, weil das Licht als eine unendlich zarte Sonde betrachtet werden kann, welche in die Körper eindringt und besondere Modifikationen annimmt, welche von der Agregationsweise der Moleküle abhängen.

Wenn man normale Schwingungen in den kreisförmigen Lamellen erzeugt, so bemerkt man mehrere Theilungsarten: bald theilen sich diese Lamellen in eine gewisse, jedoch immer gerade Anzahl von gleichen Sektoren, welche ihre Schwingungen in derselben Zeit ausführen, und welche von diametralen Knotenlinien getrennt sind; bald theilen sie sich in eine gewisse Anzahl concentrischer Zonen, welche von

kreisförmigen Knotenlinien getrennt sind. Man bemerkt ferner, daß diese beiden Theilungsarten sich manchmal mit einander verbinden, so daß die akustischen Linien kreisförmige Linien sind, welche in gleiche Theile, durch die diametrale Knotenlinien getheilt wurden.

Wenn die Lamelle homogen, kreisartig und von gleicher Dicke ist, wenn die Figur nur aus diametralen Linien besteht; das System, welches sie bildet, in allen Arten von Richtungen stellt, so daß ein beliebiger Punkt des Umrisses der Lamelle zum Streichpunkte genommen wird, so bestimmt diese Richtung die Richtung der Klangfigur. Was die kreisförmigen Linien anbetrifft, so sind sie in demselben Falle mit dem Umkreise der Lamelle concentrisch. Dies ist der Fall, wenn alle Theile homogen sind, aber er findet nicht mehr Statt, wenn keine Symmetrie mehr da ist; auch reicht in diesem Falle die Lage des Streichpunktes nicht mehr hin, um die Lage der diametralen Knotenlinie zu bestimmen, und wenn diese Linien Kreise sind, so verwandeln sie sich in Ellipsen oder complizirtere Figuren. Wenn man z. B. eine Holzlamelle, welche parallel mit den Fasern geschnitten ist, nimmt, und man, nachdem man sie in ihrem Mittelpunkte leicht befestigt hat, sucht sie die Eintheilungsart hervorbringen zu lassen, welche aus zwei rechtwinklig gekreuzten Linien besteht, so findet man, daß eine dieser Linien in der Richtung der größern und die andere der kleineren Beugung liegt, und daß, wenn dieselbe Lamelle am Ende dieser Linien erschüttert wird, man eine zweite Theilungsart erhält, die eine Hyperbel gibt, deren Aeste sehr zusammengedrängt sind, und die zur zweiten Achse diejenige von den gekreuzten Linien hat, welche dem Mittelpunkte des größten Beugungswiderstandes entspricht. Dieses Beispiel zeigt allein, daß, wenn man aus verschiedenen Substanzen kreisförmige Lamellen von gleicher Dicke

bildet, man an der festen oder unbestimmten Lage einer Klangfigur, die aus diametralen Knotenlinien besteht, erkennen kann, ob die Elasticität der Substanz in allen Richtungen dieselbe sei.

Bei der Anwendung dieser Experimentirungsmethode auf verschiedene, regelmäßig oder verworren krystallisirte Körper, wie z. B. auf die Metalle, das Glas, den Schwefel, den Bergkrystall, den kohlensauren Kalk, den schwefelsauren Kalk, den Gyps u. s. w.; fand Savart, daß die Klangfigur, welche aus zwei sich unter rechten Winkeln kreuzenden Linien besteht, sich nur in einer einzigen Lage erhält und daß es eine zweite Lage gibt, wo man zwei hyperbolisch gekrümmte Linien erhält, die von einem Tone begleitet sind, welcher von demjenigen, den man bei den gekreuzten Linien erhält, verschieden ist. Er fand auch Lamellen, welche nicht die zwei geraden Linien liefern, aber wohl zwei Systeme von hyberbolischen Curven, welche von verschiedenen Tönen begleitet sind. Savart fand ferner, daß in einer Metallmasse, welche anfänglich homogen schien, die Lamellen, welche nach verschiedenen Richtungen genommen wurden, nicht dieselben Theilungsarten gaben. Indem er die Richtungen der Elasticität der vorher angegebenen Stoffe analysirte, wurde er auf verschiedene für das Studium der molekularen Constitution der Körper wichtige Resultate geführt. Wenn man drei von jenen Ebenen, welche unter sich gleiche Winkel bilden, nimmt, so ist ihre Elasticität die nämliche. Wenn man eine Lamelle aus einem Prisma von Bergkrystall beinahe parallel mit der Axe und nicht parallel mit den beiden Grundflächen des Hexaeder schneidet, so kann man allein mit Hülfe der Klangfiguren unscheiden, welches die Flächen der Pyramide sind, die sich spalten lassen. Mag auch die Richtung der Lamellen sein, welche sie will, so nimmt die optische Achse oder ihre Projection auf ihre Ebene eine Lage

an, welche innig mit der Anordnung der akustischen Linien verknüpft ist.

Die zahlreichen Versuche, welche Savart über den Bergkrystall anstellte, zeigen, daß diese Substanz nicht zu der Zahl der Stoffe mit drei rechtwinkligen und ungleichen Elasticitätsachsen und zur Zahl derjenigen, deren Theile symmetrisch um eine einzige gerade Linie angeordnet sind, gezählt werden dürfe, sondern daß sie drei Systeme von Achsen oder Hauptelasticitätslinien enthalte, deren Richtung er bestimmt hat. Er hat hierauf gezeigt, daß die große Diagonale des primitiven Rhomboeders als die zwischenliegende Elasticitätsachse betrachtet werden müsse, daß eine andere Achse die kleine Diagonale der Rautenfläche des primitiven Rhomboeders ist, indem diese Linie für die Achse der größeren Elasticität eines jeden Systemes betrachtet werde. Was die dritte Achse anbetrifft, so ist sie senkrecht auf der dazwischen liegenden Achse und bildet mit der der größeren Elasticität einen Winkel von 57° 40′ 13″, welches die Neigung der Rhomboederfläche gegen die Diagonalebene ist. Man sieht demnach, daß die Achse der größeren Elasticität und die zwischenliegende Achse sich in der Ebene befinden, die die Rhomboederfläche bildet, daß sie unter sich perpendikulär sind, und daß die zwischenliegende Achse und die Achse der geringeren Elasticität, die ebenfalls perpendikulär unter sich sind, in der Diagonalebene liegen. Der durchsichtige kohlensaure Kalk und der eisenhaltige kohlensaure Kalk scheinen elastische Eigenschaften zu besitzen, die denen des Bergkrystalls analog sind, d. h. sie enthalten drei Systeme von Hauptlinienelasticität, die unter sich ähnlich sind.

Savart behauptete, daß es vorkommen könne, daß der Bergkrystall wie der kohlensaure Kalk überzählige Spaltungsflächen besitzen, welche parallel mit den Diagonalebenen ihres primitiven Rhomboeders gehen.

Der einzige Unterschied, welchen er zwischen der Struktur des Quarzes und der des kohlensauren Kalkes gefunden zu haben scheint, bestand darin, daß bei diesem die kleine Diagonale des Rhomboeders die Achse der geringeren Elasticität ist, während sie die der größeren Elasticität in dem ersten ist. Diese beiden Beispiele zeigen demnach, daß die Anordnung der Klangfiguren und die Klangschwingungen, die sie begleiten, immer innig mit den Richtungen der Spaltbarkeit in jeder Lamelle verbunden sind. Dies ist das Verhältniß, welches Savart nur in einigen Stoffen bestimmen konnte und welches uns die Dienste ahnen läßt, die man von der Akustik für das Fortschreiten der molekularen Physik erwarten kann. Daher darf man glauben, daß man vermittelst der Klangschwingungen zur Bestimmung der primitiven Gestalt gewisser undurchsichtiger Stoffe, welche sich nicht der mechanischen Theilung unterwerfen und in deren Inneres man keinen Büschel polarisirten Lichtes eintreten lassen kann, gelangen werde.

Von der Mittheilung der schwingenden Bewegungen der Körper.

Wenn uns daran liegt, die Art kennen zu lernen, wie die Moleküle der Körper schwingen, und die Töne, welche aus den verschiedenen Erschütterungsarten, welche man ihnen mittheilt, hervorgehen, so müssen wir auch wissen, wie die Körper den schwingenden Zustand durch ihren Contakt mit schwingenden Körpern erhalten können. Man darf nur eine Saite schwingen lassen, um eine Saite, die sich in geringer Entfernung von ihr befindet und mit ihr im Einklange steht, gleichfalls in Schwingung zu bringen. Ebenso theilt eine Saite den Partikelchen einer Lamelle, die sie berührt, eine Bewegung mit, welche mit der, die sie selbst hat, parallel ist.

Savart fand, daß die Fortpflanzung nicht immer auf dieselbe Weise vor sich gehe. So vibrirt eine Membrane, welche über einen Rahmen gespannt war, nicht auf dieselbe Weise, wenn man ihr eine klingende Platte senkrecht oder parallel vorhält. Im ersten Fall sind die Schwingungen tangentiell, im zweiten sind sie normal. Wenn verschiedene feste Theile miteinander vereinigt sind und ein System bilden, so bildet dieses System nur ein Ganzes und verhält sich wie ein System, wenn eines von den Theilen erschüttert wird.

Savart, welcher eine große Zahl von Versuchen über die Fortpflanzung des Schalls in den festen Körpern angestellt hat, wurde auf das allgemeine Princip geführt, daß in einem beliebigen Systeme alle schwingenden Moleküle eine mit der ursprünglichen Erschütterung parallele Bewegung haben. Wenn demnach die Bewegung vermittelst eines Bogens erzeugt wird, so schwingen alle Moleküle parallel mit der Linie, welche die Theile, aus denen sie bestehen, durchlaufen.

Die tropfbarflüssigen Körper pflanzen die schwingenden Bewegungen, wie die festen Körper fort; Savart fand, daß, indem er diese letzteren in Wasser, Oel, Quecksilber schwingen ließ, diese Medien keinen Einfluß auf die tangentiellen Schwingungen äußern, während sie einen sehr großen auf die normalen, oder mehr oder minder schiefen Schwingungen ausüben.

Aus allen Thatsachen, die wir bis jetzt vorgetragen haben, kann man schließen, daß, wenn man einen Körper schwingen läßt, die Intensität der hervorgebrachten Töne 1), von den Schwingungen klingender Körper, mit welchen er im Contakt ist; 2) von den Schwingungen der entfernten Körper, welche harmonische Töne hervorbringen können, Schwingungen, welche von den wiederholten Stößen der Schallwellen erregt werden; 3) von den benachbar-

ten Echo's verstärkt wird. Alle diese vereinigten Ursachen bilden die Resonanz der Körper. Um das Allgemeine zu vervollständigen, welches wir über unsere hauptsächlichsten Kenntnisse in der Akustik zu geben versucht haben, müßten wir noch von dem Gehörorgane, von der Stimme und den Funktionen dieser beiden Organe sprechen. Da wir aber etwas ausführlicher in diesem Werke die verschiedenen Fragen abhandeln müssen, welche sich auf ihre Organisation und ihre Verrichtungen beziehen, so erwähnen wir ihrer hier nicht.

Am Schlusse dieser Einleitung wollen wir auf's Neue daran erinnern, daß unser Zweck darin besteht, einigermaßen eine wissenschaftliche Darstellung der Hauptthatsachen, so wie die wissenschaftlichen Abtheilungen, welche heutzutage die Physik ausmachen, ohne Parteigeist, ohne Vorurtheil gegen diese oder jene Theorie so zu geben, daß der Leser in einigen Augenblicken einen ziemlich deutlichen Begriff von dem wirklichen Zustande des Theils der Physik, welche er zu Rathe ziehen will, bekommen könne. Wir haben durchaus nicht die Anmaßung, zu glauben, daß wir nichts ausgelassen haben; aber wir dürfen sagen, daß wir uns beständig beflissen haben, keine von den Thatsachen auszulassen, welche sich auf die angewandte Physik in ihren Anwendungen auf die Chemie und die verwandten Wissenschaften beziehen.

Die Physik
in ihren Verhältnissen zur Chemie und den verwandten Wissenschaften.

Einleitung.

Wenn ein Reisender sich auf eine der Höhen der Alpen oder auf jede andere Gebirgskette begibt, und wenn er von da, so weit sein Blick reichen kann, diese als eben so viele Ruinen aufgethürmten Felsen und diese wellenförmige Bewegungen des Bodens, die noch auf große Entfernungen wahrnehmbar sind, betrachtet, so wird er überzeugt, daß Revolutionen und gewaltthätige Katastrophen die Oberfläche der Erdkugel zu verschiedenen Zeiten umgewühlt haben. Wenn er von dem lebhaften Eindrucke, welchen dieses imposante Schauspiel auf ihn gemacht hat, zu sich gekommen ist, so durchläuft er diese Ruinen, um sie zu befragen und um daselbst besondere Thatsachen zu erforschen, die geeignet sind, ihn die Natur der in den ersten Perioden der Welt wirkenden Kräfte kennen zu lehren, und weit entfernt, dort auf ein Chaos zu stoßen, zeigt ihm alles an, daß diese großen Wasserfluthen, von welchen er überall unwiderlegbare Spuren findet, das Resultat von Kräften sind, welche zu verschiedenen Zeiten in einer und derselben Richtung gewirkt haben. Wenn er in seinem Forschen fortfährt, so hält er bei den Abdachungen an, welche die Thäler begränzen; er findet, daß sie größtentheils aus Lagern

von verschiedenen Substanzen in parallelen Schichten, die um so höher über dem Horizonte sind, je näher sie den hohen Gebirgsketten liegen, gebildet sind, während in den Ebenen ihr Strich horizontal ist. Auf den entgegengesetzten Seiten, bieten sich dieselben Erscheinungen dar, jedoch in einer umgekehrten Richtung. Diese Thatsachen kündigen demnach an, daß eine innere Kraft die Erdoberfläche zu verschiedenen Zeiten erhoben und diese Gebirgsketten erzeugt hat, welche sie nach allen Richtungen durchfurchen.

Steigt unser reisender Philosoph in die natürlichen oder künstlichen Aushöhlungen hinab, so findet er, daß die Erdschichten häufig von Lagern gebildet sind, welche einen wässrigen Ursprung und horizontale Schichten haben, welche Pflanzen- und Thierüberreste sehr oft in einem vollkommen erhaltenen Zustande enthalten.

Dringt er weiter in das Innere der Erde ein, so findet er, neue Thier- und Pflanzenüberreste, die Arten angehören, welche sich mehr und mehr von den jetzt lebenden entfernen, und die endlich ganz verschieden von denselben sind. Ist er endlich an der primitiven Formation angelangt, so sieht er überall nur die Wirkung des Feuers. Er schließt aus allen seinen Forschungen, daß die Erde sich ursprünglich im gasartigen Zustande befand, d. h. daß alle Elemente, aus welchen sie heutzutage besteht, sich als Dämpfe in einem viel größeren Raume verbreiteten, als der ist, den sie wirklich einnehmen; daß die aufeinanderfolgende Abkühlung, welches eine unbestreitbare Folge der strahlenden Wärme in den Räumen des Himmels ist, den Felsen und den verschiedenen Substanzen, welche die Urformation bilden, ihr Entstehen gegeben hat, daß, bis zur Bildung der mittleren oder Uebergangsformation, einer Epoche des Erscheinens der Thiere und Pflanzen, die organische Natur lange mit der todten Natur kämpfte und endlich die

Oberhand erhielt; daß endlich dieser Gang des Lebens in den Zeiten der Ruhe, welche auf die plötzlichen Revolutionen folgten, die von Zeit zu Zeit die Oberfläche der Erde einstürzten, vorgefallen ist. Nachdem diese Revolutionen aufgehört hatten, erschien der Mensch, und seitdem scheint die Natur die Kraft verloren zu haben, freiwillig neue Keime zu erschaffen. Wir wollen mit geologischen Beweisen die von uns so eben vorgetragenen allgemeinen Angaben unterstützen.

Man theilt das Erdreich, welches die oberflächliche Kruste des Erdbodens bildet, in vier Klassen ein, wovon jede wieder aus mehreren Formationen besteht. Wir geben hier die Ordnung der übereinanderliegenden Schichten an, indem wir bei den neuesten beginnen:

Aufgeschwemmtes Land, alluviale Formation (quaternäre Formation)		neueste mittlere alte
Tertiäre Formation		Muschelerde Sandstein Mergel von Fontainebleau Gyps Fester Kalk Plastische Thonerde
Sekundäre Formation		Kreide Grüner Mergel Jurakalk Magerer Mergel Rother Mergel
Uebergangsgebirge	obere	Steinkohlenschichte Metallführender Kalkstein Alter rother Mergel
	untere	Uebergangskalk Alter Grauwacke

Primitive Formation	Thonschichte
	Talgschichte
	Glimmerschichte
	Hornblende
	Gneis
	Granit
	Syenit

Wir haben in dieser Tabelle die Erdreiche von veränderlicher Lage und die vulkanischen Formationen mit welchen wir uns nicht zu beschäftigen haben, nicht angezeigt.

Da seit der Bildung der primitiven Formationen die Temperatur der Gewässer und der Oberfläche der Erde zu hoch war, als daß sie von lebenden Wesen hätte bewohnt werden können, so fehlen auch in allen älteren Formationen die organischen Ueberreste gänzlich. Nur in der mittleren oder der Uebergangsformation hat das organische Leben beginnen können. Wie wird aber der Uebergang vom unorganischen Leben (wenn wir uns so ausdrücken dürfen) zum organischen Leben bewerkstelligt?

Die vergleichende Anatomie lehrt uns, daß die vier großen Zweige, welche wirklich existiren, die Wirbelthiere, die Weichthiere, die Gliederthiere und die Strahlthiere zu gleicher Zeit mit dem organischen Leben auf der Erde erschienen sind. Die Wirbelthiere erhoben sich nicht über die Fische; die Weichthiere zeigten mehrere Familien, welche auf der ganzen Erdoberfläche verbreitet zu sein scheinen. Unter den Gliederthieren findet man nur die erloschene Familie der Trilobiten, welche beim Beginne der sekundären Reiche schon nicht mehr vorhanden sind; die Strahlthiere, deren Ueberreste die zahlreichsten sind, bildeten eine Klasse von Wesen, welche durch ihre Verschiedenheit und Schönheit merkwürdig sind. Die Gewächse dieser Formation waren weniger zahlreich und beinahe

lauter Seepflanzen; in der oberen Formation jedoch gibt es eine beträchtliche Menge von Landpflanzen, welche sich in einem vollkommen erhaltenen Zustande befinden, und welche die Steinkohlenformation bilden. In der sekundären Formation findet man gleichfalls Ueberreste von den vier großen Zweigen des Thierreichs wieder; die Erde war noch nicht in einem solchen Zustande, daß Landsäugethiere mit warmem Blute hätten darauf leben können. Was sie aber am meisten charakterisirt, ist die große Menge von Sauriern, deren Verhältnisse riesenartig waren; es gab See-, Land- und Amphibiensaurier.

In der tertiären Formation nähern sich die Vegetabilien und Thiere mehr und mehr den wirklich noch lebenden Arten. Diese Formation besteht aus vier anderen, von denen eine jede durch die Fossilien, die sich darin finden, charakterisirt ist. Die Arten haben sich dort nach einander vermehrt. In der ersten, welche der Muschelkalk ist, findet man sehr wenig von den Muscheln, welche man mit den lebenden Muscheln vergleichen könnte; in der zweiten bilden die fossilen Muscheln, welche den lebenden analog sind, die Minorität; in der dritten und in der vierten, welche subappenninische Flötzformationen umfassen, gehören die Muscheln größtentheils lebenden Arten an. Diese vier großen Flötzformationen wechseln mit einer vierfachen Reihe von Süßwasserformationen ab. Das Studium der Fossilien lehrt uns, daß in diesen verschiedenen Formationen das Thierreich nach denselben Gesetzen gebildet war, und daß es die nämlichen Klassen, die nämlichen Familien umfaßte, wie in unseren Tagen.

In der zweiten Periode, findet man ausgedehnte Gattungen von Sumpfsäugethieren der ersten Periode und die ältesten generischen Formen, die noch in unseren Tagen vorhanden sind. Die beiden andern Abtheilungen des tertiären Niederlagerns des süßen Was-

sers haben Ueberfluß an ausgestorbenen Arten von Dickhäutern, deren Gattungen in unsern Tagen immer noch bestehen, wie z. B. die Gattungen, Elephant, Rhinozeros, Hippopotamus, Pferd, u. s. w. Man fängt dort an, zahlreichen Spuren von Wiederkäuern zu begegnen, wie z. B. dem Ochsen, dem Hirsch, u. s. w., und die Zahl der Nagethiere muß sich bedeutend vermehrt haben, was man an dem Ueberfluse ihrer Fossile ersehen kann. In dieser Abtheilung und der vorhergehenden sind die Meere mit Wallfischen, Delphinen, Robben bevölkert worden, deren Gattungen noch existiren.

In den verschiedenen aufeinanderfolgenden Formationen, welche wir so eben durchgegangen haben, hat das Thierreich einen fortschreitenden Ganz eingeschlagen, man hat jedoch noch keine fossilen Reste gefunden die der Gattung Mensch angehören. Daraus scheint hervorzugehen, daß der Mensch das letzte Werk der Schöpfung ist.

Aber welches sind die Kräfte, welche zur Bildung und zur Erzeugung aller Körper, die sich im Wasser, auf der Oberfläche und im Innern der Erde befinden, beigetragen haben? Diese Frage ist für die Naturphilosophie von der höchsten Wichtigkeit; was in dieser Hinsicht jedoch die organischen Körper anbetrifft, so geht ihre Lösung über die menschliche Kraft, denn wir haben keine Angaben über die Natur der Lebenskräfte und über die Ursachen, welche bei Erzeugung von Keimen und bei der von organischen Molekülen zusammengewirkt haben. Unsere Unwissenheit ist von der Art, daß, wenn durch irgend eine Ursache die Körper und die Stoffe, woraus die Erde besteht, durch eine übermäßige Wärme verflüchtigt würden, und hierauf eine gradweise Abkühlung stattfände, die unorganischen Zusammensetzungen sich nach den bekannten Gesetzen wieder bildeten, während wir nicht einsehen, wie sich die Keime der

Thiere und Pflanzen wieder erzeugen können. Man muß demnach das Dasein einer schaffenden Kraft zugestehen, welche sich in gewissen Epochen offenbart, und welche heutzutage nur so wirkt, um die wirklich lebenden Arten zu erhalten, aber nicht um neue Keime zu bilden.

Aus den allgemeinen Thatsachen, die wir so eben mittheilten, müssen wir schließen, daß seit der Bildung der Uebergangsformation alle Körper in zwei große Klassen eingetheilt werden konnten und noch eingetheilt werden. In die erste kamen die mit Leben begabten Körper, in die zweite diejenigen, welche desselben beraubt sind.

Die Körper der ersten Klasse bestehen aus Theilen, welche in Beziehung auf Gestalt, Zusammensetzung Funktionen, welche sie zu verrichten haben, wesentlich von einander verschieden sind. Einen oder mehrere davon wegnehmen, würde denselben nachtheilig verändern, manchmal die Körper selbst zerstören. Diese zur Existenz der Körper nothwendigen Theile hat man Organe und die Körper selbst organisirte Körper genannt; während man unorganisirte Körper diejenigen nennt, bei welchen alle ähnliche Theile getheilt werden können, ohne darum aufzuhören dieselben zu sein.

Alle Körper haben physische Eigenschaften, welche, wenn sie zur ersten Klasse gehören, von ihrer Organisation, und von ihrer Natur, von ihrer Molekularanordnung, so wie von den Kräften, welche bei ihrer Constitution und ihrer Zusammensetzung vorherrschen, abhängen, wenn sie zu der zweiten Klasse gehören. Das Studium der Kräfte und der Beschaffenheit der Körper ist also mit dem ihrer physikalischen Eigenschaften innig verbunden und kann nicht davon getrennt werden. Das Ganze der Kenntnisse, zu welchen dieses doppelte Studium führt, bildet das Gebiet der Physik aus dem allgemeinsten Gesichts-

punkte und folglich in ihren Beziehungen zu der Chemie und den verwandten Wissenschaften betrachtet.

Betrachten wir zuerst die unorganischen Körper, welche sich, da sie von einfacher Constitution sind, besser als die organischen Körper zu den Forschungen des Physikers hergeben. Diese Körper entstehen aus der Vereinigung von einer unendlichen Anzahl ähnlicher oder heterogener Elementartheilchen, die man Atome genannt hat, je nachdem die Körper einfach oder zusammengesetzt sind. Diese Atome bilden, indem sie sich nach einfachen Gesetzen gruppiren, zusammengesetzte Atome von der zweiten und dritten Ordnung, welche, indem sie sich aufs Neue gruppiren, Moleküle erzeugen, welche von Wärme umgeben sind, die sich unaufhörlich ihrer Attraktionskraft widersetzt. Wenn sich die intermolekulare Wärmemenge vermehrt oder vermindert, so wird die Entfernung der Moleküle von einander entweder größer oder kleiner, und das Volumen der Körper erleidet entsprechende Veränderungen, welche häufig eine neue Anordnung der Moleküle hervorbringen. Außer der Wärme läßt man noch an der Constitution der Körper die Affinität und die Elektricität Theil nehmen.

Die Moleküle der Körper sind demnach mehreren Systemen von Kräften unterworfen, welche attraktive und repulsive Wirkungen hervorbringen; je nachdem die ersten die zweiten überwiegen oder von ihnen übertroffen werden, sind die Körper fest, tropfbarflüssig oder gasartig. Indem sich die Moleküle, nach dem Zustande der Körper, in mehr oder minder großen Distanzen von einander finden, gibt es nothwendiger Weise zwischen ihnen Zwischenräume, wo die imponderablen Agentien unaufhörlich mit den materiellen Principien der Körper kämpfen. In diesen Räumen, deren Ausdehnung unseren Sinnen entgeht, bewerkstelligen sich die Erscheinungen der Elektricität, des Lichtes, der Wärme, der Verwandtschaften und der

Molekularattraktion. Daher muß man diese Agentien auch da erforschen, um ihre Eigenschaften und die Art und Weise der Wirkung eines jeden von ihnen auf die Moleküle zu untersuchen. Um diesen Zweck zu erreichen, muß man die Körper beschreiben, das Dasein der imponderablen Agentien darthun, sie aus den Zwischenräumen herausnehmen und hernach untersuchen, wie diese letzteren entweder isolirt, oder zu gleicher Zeit auf die Zusammensetzung und auf die Bildung der Körper wirken. Dies ist der Gesichtspunkt, aus welchem wir das Studium der auf die Chemie und auf die verwandten Wissenschaften angewandten Physik betrachten, da diese Wissenschaft jedoch nur in so weit mit Nutzen getrieben werden kann, als man allgemeine Kenntnisse über die Bildung der Körper, ihre Struktur, ihre Organisation besitzt, so halten wir es für nützlich, gleich zu Anfang das Nothwendigste in dieser Beziehung anzuführen, um dem Leser, welcher sich nicht damit beschäftigt hätte, die Mühe zu ersparen, seine Zuflucht zu besonderen Werken zu nehmen, in welchen diese Angaben vielleicht in keinem so gedrängten Rahmen enthalten wären, um eine allgemeine Uebersicht davon zu bekommen.

In physikalischen Werken beschäftigt man sich im Allgemeinen mit den Eigenschaften der Körper und abstrahirt von ihrer Natur; während in der angewandten Physik jeder Körper als ein Werkzeug betrachtet wird, das man befragt, um daraus Wirkungen abzuleiten, welche von seiner Constitution oder von seiner Organisation abhängen. Aber wie man in der Physik ein Instrument beschreibt, mit welchem man experimentiren muß, eben so hat man Kenntnisse von den Körpern nöthig, deren physische Eigenschaften man studiren will. Indem wir diesen Gang einschlagen, haben wir durchaus nicht die Absicht, die Elemente der Chemie und der verschiedenen Zweige

der Naturwissenschaften vorzutragen, weil wir uns weder mit der Klassifikation der Körper, noch mit den Verhältnissen, welche die Körper unter sich verbinden, beschäftigen. Unser Zweck ist allein der, wir wiederholen es, in einem ziemlich engen Rahmen die Kenntnisse vorzutragen, welche dem Leser nothwendig sind, damit er sich einen Begriff von der Constitution der Körper, welche der Gegenstand unserer Forschungen sein müssen, machen könne.

Erstes Buch.

Von der Struktur der Körper.

Erstes Kapitel.

Atomistische Zusammensetzung der unorganisirten Körper.

Es gibt vier Mittel, die Struktur der unorganisirten Körper zu studiren: 1) die Spaltung, bei den regelmäßig krystallisirten, undurchsichtigen oder durchsichtigen Körpern; 2) die Wirkung des polarisirten Lichtes bei allen durchsichtigen regelmäßig oder verworren krystallisirten Körpern; 3) die Schwingungen bei den Körpern, welche nach verschiedenen Richtungen in Platten geschnitten werden können; 4) die Elektricität bei den krystallisirten Körpern, welche dem Gesetze der Symmetrie zuwiderlaufen; wir bedienen uns für den Augenblick nur der Resultate der chemischen Analyse und der Spaltung, welche, wegen ihrer einfachen Wirkungsart für Jedermann verständlich und hinreichend sind, uns ziemlich umfassende Begriffe über die Struktur der Körper zu geben; wir werden das polarisirte Licht nur dann anwenden, wenn wir von seiner Wirkung auf die Körper handeln werden.

Ein Körper besteht aus materiellen Theilchen, welche vermittelst der mechanischen Theilung mehr oder minder leicht von einander getrennt werden können. Wenn es möglich wäre, das letzte Glied dieser Theilung zu erhalten, so würde man das integrirende oder constitutrende Moleküle haben, welches selbst wieder aus

ähnlichen oder heterogenen Elementarpartikelchen oder Atomen besteht, je nachdem der Körper einfach oder zusammengesetzt ist und welche nur durch chemische oder physische Mittel getrennt werden können. Die Gestalt und das wirkliche Volumen dieser Atome entgehen unseren Sinnen, wenn wir auch das stärkste Mikroskop zu Hülfe nehmen. Wir wissen gleichfalls nicht, welches ihr wirkliches Gewicht ist, aber wir haben Mittel, ihre relativen oder specifischen Gewichte und Volumen zu bestimmen; damit wollen wir uns jetzt beschäftigen. Was ihre Gestalt anbetrifft, so glaubt man ziemlich allgemein, daß sie sphärisch sei, da es dieselbe ist, welche die Materie, wenn sie keiner fremden Kraft unterworfen ist, annimmt. Man nimmt ferner an, daß die einfachen oder zusammengesetzten Atome bei ihrem Gruppiren, wie wir bereits gesagt haben, constituirende Moleküle erzeugen, deren Gestalt von ihrer Anzahl, von der Art und Weise ihrer Anordnung und von gewissen Bedingungen abhängt, von welchen wir nachher sprechen werden.

Man kann wohl Theorien erfinnen, um die Beziehungen zu bestimmen, welche zwischen der Gestalt der zusammengesetzten Atome, der Zahl und der Gruppirung der einfachen Atome stattfinden; aber man darf nur die Theorien in Betracht ziehen, welche die größere Anzahl bekannter Thatsachen erklären, jedoch immer in der Absicht, sie von dem Augenblicke an durch andere zu ersetzen, wo sich neue Entdeckungen nicht mehr mit ihnen vereinigen lassen. Aber ehe wir einige von diesen Theorien auseinandersetzen, wollen wir die Gesetze kennen lernen, nach welchen die heterogenen Atome sich vereinigen oder vielmehr sich verbinden, um zusammengesetzten Atomen ihre Entstehung zu geben. Wir werden nicht von den Versuchen sprechen, die nach der Reihe von Descartes, Swedenborg u. s. w. gemacht wurden, um sogleich zu den chemischen Aequivalenten zu kommen, welche

einen Begriff von den Verbindungen in bestimmten Verhältnissen zu geben anfingen.

Wenzel gab im Jahr 1777 ein Werk über die Theorie der Affinitäten heraus, in welchem er zu beweisen suchte, indem er sich auf sehr genaue Analysen stützte, daß die Verbindungen nicht, wie man allgemein glaubte, veränderlich und unbestimmt wären, daß zwei neuttale Salze, welche sich gegenseitig zersetzen, zwei vollkommen neutralen Salzen ihr Entstehen geben, und daß ein solches Verhältniß zwischen den Gewichten von zwei Basen stattfände, welche erforderlich sind, um dasselbe Gewicht Säure zu sättigen, daß dieses Verhältniß sich nicht ändere, was für eine Säure es auch sein möge, und umgekehrt. Obgleich dieses Werk voll neuer und wichtiger Entdeckungen war, so zog es doch die Aufmerksamkeit der Chemiker seiner Zeit wenig auf sich, so sehr waren alle mit den großen Entdeckungen Lavoisier's beschäftigt.

Indem Richter einige Zeit nachher die Forschungen Wenzels wieder aufnahm, bestätigte er die Genauigkeit derselben, und entdeckte außerdem die wichtige Thatsache, daß die Oxyde zu ihrer Neutralisirung Säuremengen verlangen, welche der Menge des Sauerstoffs, den sie enthalten, proportional sind, und daß ein constantes Verhältniß zwischen der Säure eines Salzes und dem Sauerstoff seiner Base bestehe. Berzelius zeigte sodann, daß in den Verbindungen der Basen mit der Salpeter- und Schwefelsäure, das Verhältniß des Sauerstoffs der Basen zu dem der Säure wie 1:3, 1:5 sei.

So weit war man mit der Theorie der chemischen Proportionen gekommen, als Dalton in einem, im Jahre 1810 herausgegebenen Werke den Grundsatz aufstellte, daß sich die Verbindungen der Körper zwischen Elementaratomen und nicht zwischen Bruchatomen bewerkstelligen. Wenn zwei Körper z. B. mehrere Verbindungen bilden, so bewerkstelligen sich diese

Verbindungen folgendermaßen: ein Atom des ersten mit einem Atome des zweiten, woraus ein zusammengesetztes Atom der zweiten Ordnung oder binäres Atom entsteht, oder auch ein Atom des ersten mit zwei Atomen des zweiten u. s. w. Existirt nur eine eine einzige Verbindung? Sie findet gewöhnlich zwischen zwei einfachen Atomen Statt; wenn es zwei gibt, so wird die eine von binären, die andere von ternären Atomen u. s. f. gebildet.

Versuche, welche von Gay-Lussac und von Humboldt im Jahr 1806 über die Verbindung der gasartigen Stoffe angestellt worden waren, bestätigten die theoretischen Ansichten Daltons, indem sie bewiesen, daß alle gasartigen Stoffe sich in festen und vielfachen Verhältnissen einer ganzen Zahl ihres Volumens verbinden. Gay-Lussac und von Humboldt bewiesen wirklich, daß ein Volumen Sauerstoffgas, verbunden mit zwei Volumen Wasserstoffgas, Wasser erzeugt; daß alle gasartigen Substanzen, welche Verbindungen bilden, sich entweder in gleichen Volumina oder in solchen Verhältnissen verbinden, daß das Volumen des einen ein Vielfaches von der ganzen Zahl des andern ist, und daß die Contraktion, wenn sie stattfindet, immer im einfachen Verhältniß zum ursprünglichen Volumen steht, wie man es aus der folgenden Tabelle sieht:

Volumen des einen der Gase.	Volumen des andern Gases.	Mengen, welche von der Verbindung der beiden Gase erzeugt wurden.
200 Wasserstoffgas	100 Sauerstoffgas	Wasser.
300 —	100 Stickstoff	200 Ammoniakgas
100 —	100 Chlor	200 salzsaures Gas.
100 Stickstoffgas	50 Sauerstoffgas	100 Stickoxydulgas.
100 —	100 —	200 Stickoxydgas.
100 —	150 —	Untersalpetrige Säure.
100 —	200 —	Salpetrige Säure.
100 —	250 —	Salpetersäure.

Diese Resultate beweisen, daß die Elemente der gasartigen Körper sich unter sich in festen und beziehungsweise zu ihrem Volumen vielfachen Verhältnissen verbinden, wie es Dalton in Beziehung auf das Gewicht behauptet hatte. Man zog nun daraus den Schluß, daß die Gesetze der gasförmigen Verbindungen die nämlichen sind, wie die, welche bei den Verbindungen der festen oder tropfbarflüssigen Stoffe vorherrschen. Wenn man die atomistische Theorie und die Volumentheorie mit einander vergleicht, so leitet man daraus ab, daß die Atome in den Gasen gleichweit von einander entfernt sind und daß bei gleichem Volumen, bei derselben Temperatur und bei demselben Drucke die Zahl derselben die nämliche ist; Dumas fand indessen, daß die Dämpfe eine Ausnahme machen: 1) im Phosphordampfe, wo die Zahl der Atome das Doppelte von derjenigen des nämlichen Volumens vom permanenten Gase ist; 2) in dem des Schwefels, ist sie das Dreifache; 3) in dem des Quecksilbers ist die Zahl die Hälfte. Bei den Dämpfen der einfachen Körper scheint endlich das Verhältniß zwischen dem Volumen und der Anzahl der Atome das Vielfache oder der Faktor von der Zahl der Atome zu sein, welche in einem gleichen Volumen eines permanenten Gases enthalten sind. Aber ehe wir die Beziehungen, welche zwischen der Atomentheorie und der der Volumina bestehen, auseinandersetzen, müssen wir Grundprincipien geben, ohne welche wir keine, mit dem wirklichen Zustande der Wissenschaft übereinstimmende Resultate erhalten könnten.

Wir wollen zuerst einige Gesetze durchgehen, nach welchen sich die Atome in der unorganischen Natur verbinden. Ein Atom eines Elements verbindet sich, haben wir gesagt, mit einem, zwei, drei u. s. w. Atomen eines anderen Elementes; aber man weiß nicht, wie weit die Anzahl dieser letzteren gehen

kann; man hat behauptet, daß sie die Zahl zwölf wegen der vorausgesetzten Kugelgestalt der Atome, und auch darum nicht überschreiten könne, weil eine Kugel mit nicht mehr als zwölf gleich großen Kugeln in Contakt gebracht werden kann, wenn sie dieselbe ganz umgeben sollen. Wenn man zeigte, daß die Gestalt der Atome sphärisch wäre, so könnte sich diese Vermuthung in eine Wahrheit verwandeln; überdies kennt man keine unorganischen Verbindungen, die dieses Verhältniß überschreiten. Wenn aber ein Atom eines Elements sich mit einem, zwei, drei u. s. w. Atomen eines anderen Elementes verbindet, können zwei Atome des ersten sich mit zwei, vier, sechs Atomen des zweiten verbinden? Wir wissen es nicht. Das folgende Beispiel zeigt unsere Ungewißheit in dieser Beziehung: das Wasser besteht aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff; wenn es sich noch mit einem andern Atome Sauerstoff verbindet, so bildet es das Wasserstoffsuperoxyd; folgen nun daraus zwei Atome Superoxyd, von denen ein jedes aus einem Atom Sauerstoff und einem Atom Wasserstoff besteht, oder wohl ein einziges Atom, das aus zwei Atomen von jedem Elemente besteht? Die Ungewißheit ist dieselbe, wenn wir die Zusammensetzung des Ammoniaks betrachten, welches aus einem Atom Stickstoff und drei Atomen Wasserstoff, die sich in zwei Volumina verdichtet haben, besteht. Hier fehlen die Thatsachen, um die Alternative zu entscheiden. Die Verbindungen der zusammengesetzten Atome richten sich nach denselben Gesetzen; aber es geschieht nicht in derselben großen Zahl von Verhältnissen, während sich die Verwandtschaften in dem Verhältnisse vermindern, je zusammengesetzter die Atome werden; so haben die Atome der dritten Ordnung nur eine sehr schwache Verwandtschaft, die sich nur in sehr langsamen Wirkungen äußert. Man kennt auf die nämliche Weise die Verbindungszahlen, welche

zwischen den zusammengesetzten Atomen und den einfachen Atomen vorkommen, nicht.

Die Verbindungen der zusammengesetzten Atome sind demungeachtet gewissen Bedingungen unterworfen, welche ihre Anzahl beschränken.

In den neutralen schwefelsauren Salzen z. B. verhält sich die Sauerstoffmenge des Oxyds zu der der Säure = 1 : 3; dieses Verhältniß ist eine Folge aus der atomistischen Zusammensetzung der schwefelsauren Salze, in welchen die Basis aus einem Atome Metall und einem Atome Sauerstoff, die Säure aus einem Atome Schwefel und drei Atomen Sauerstoff besteht.

In den schwefligsauren Salzen verhält sich die Sauerstoffmenge des Oxyds zu der der Säure = 1 : 2.

In den unterschwefligsauren Salzen ist dieses Verhältniß = 1 : 5.

In den selensauren Salzen . . .	= 1 : 3
„ „ selenigsauren Salzen	= 1 : 2
„ „ salpetersauren Salzen . . .	= 1 : 2
„ „ untersalpetersauren Salzen .	= 1 : 5
„ „ neutralen phosphorsaur. Salzen	= 2 : 3
„ „ phosphorigsauren Salzen . .	= 2 : 5

In den arsen- und arseniksauren Salzen, deren Zusammensetzung die nämliche, wie die der neutralen phosphorsauren und phosphorigsauren Salze ist, sind die Verhältnisse zwischen den Sauerstoffmengen dieselben.

In den borsauren Salzen verhalten sich diese Mengen . . . . = 1 : 3

In den kohlensauren Salzen	= 1 : 3
„ „ überchlorsauren Salzen . .	= 1 : 7

Diese Verhältnisse sind, wir wiederholen es, eine Folge aus der atomistischen Zusammensetzung aller dieser Salze.

Das Verhältniß 3 : 2 zeigt sich, wenn die Säuren bei einem niederen Grade der Säuerung aus

zwei Atomen Radikal und drei Atomen Sauerstoff bestehen und sich mit den Basen vereinigen.

Das Verhältniß 3 : 4 zeigt sich in der Verbindung einer Säure bei einem niedrigeren Grade der Säuerung mit einem Ueberschuß von Basis, wie das vierfach salpetersaure Blei; die zusammengesetzteren Verhältnisse finden sich endlich bei den neutralen und basischen Salzen, die aus Verbindungen von Basen mit Säuren hervorkommen, welche zwei Atome Radikal und fünf Atome Sauerstoff enthalten.

In den Verbindungen der zusammengesetzten Atome der zweiten Ordnung findet man ähnliche Verhältnisse; d. h. daß die Säure in einem der Salze ein Vielfaches der ganzen Zahl von der Säure im andern ist, der Alaun und der Feldspath sind Beispiele davon; die Zahl der Atome des Sauerstoffs von der Thonerde ist das Dreifache von derjenigen der Atome des Kali, so wie die Quantität der Schwefelsäure und Kieselerde, welche mit der Thonerde verbunden sind, das Dreifache von der Menge ist, die mit dem Kali verbunden ist; auf gleiche Weise ist, wenn die Basis in den zusammengesetzten Atomen der zweiten Ordnung gemeinschaftlich ist, die Zahl der Sauerstoffatome von einer der Basen ein Vielfaches von der Zahl der Sauerstoffatome der anderen Base, wie wir einen Beweis hiefür im Datholith haben, welcher eine Verbindung von bor- und kieselsaurem Kalke ist; im kohlensauren Kupfer, wo die Basis unter die Kohlensäure und das Wasser vertheilt ist.

Dies sind die bis jetzt beobachteten allgemeinen Gesetze, und nach diesen bewerkstelligen sich die Verbindungen sowohl der einfachen als zusammengesetzten Atome in den unorganischen Körpern. Wir haben jetzt nur noch die Methode anzugeben, mit deren Hülfe man die relative Zahl und das relative Gewicht der Atome bestimmt, welche zu einer Verbindung kommen.

Da diese Methode in den Werken über die Chemie ausführlich erörtert wird, so dürfen wir uns darauf beschränken, sie auf eine allgemeine Weise anzugeben: wenn man einmal die Zahl der einfachen Atome, welche in einer Verbindung vorhanden sind, gefunden hat, so bieten die Gewichte, welche man erhalten will, keine Schwierigkeit mehr dar; es ist jedoch nicht immer leicht, diese Zahl zu bestimmen, denn man hat oft unter mehreren zu wählen, und man hat zur Entscheidung bloß chemische Betrachtungen, welche besonders die Physiker in Ungewißheit lassen.

Die Körper, deren Atomgewichte man bestimmen will, können gasartig oder fest sein; im ersten Falle geht man von dem Principe aus, daß zwei gleiche Volumina Gase bei demselben Drucke und bei derselben Temperatur dieselbe Anzahl Atome enthalten, das Verhältniß ihrer Dichtheit wird dasjenige ihrer Atomgewichte sein. Wenn man nun, da die Dichtheit des Sauerstoffes 1,1026 die des Wasserstoffes 0,0687 ist, die Atomgewichte des ersten Gases durch 100 darstellt, so wird das des Wasserstoffs 6,23 sein; dadurch kann man die Atomgewichte des Chlors, des Stickstoffs und einiger andern von Natur gasartiger Körpern bestimmen; aber da die Zahl derselben ziemlich beschränkt ist, so muß man, wenn man diese Methode auf die Körper ausdehnen will, welche gasartige Verbindungen bilden, zu dem Gesetz der Volumina seine Zuflucht nehmen, welches von Gay-Lussac vorher bekannt gemacht wurde. Auf diese Weise hat man die Atomgewichte des Schwefels, des Phosphor, des Arseniks und des Kohlenstoffs bestimmen können. Wir wollen den Schwefel nehmen: um die Dichtheit seines Dampfes zu erhalten, muß man annehmen, daß die Schwefelsäure aus einem Volumen Wasserstoff und einem halben Volumen Schwefeldampf bestehe, man wird zu dieser Annahme durch

die Zusammensetzung des Wasserdampfes und durch die Analogie, welche zwischen diesem Körper und dem Wasserstoffe besteht, geführt, welche sich auf die nämliche Weise in ihren Verbindungen verhalten. Man ersieht darans einen Beweis von der Ungewißheit, in der man sich befindet, wenn man die atomistische Zusammensetzung einiger Körper zu bestimmen sucht; man muß indessen hinzufügen, daß einem mannigmal die Mittel zu Gebote stehen, sich darüber zu versichern, ob die Bestimmung des Atomgewichtes genau ist oder nicht; man stützt sich unter anderem auf das Gesetz von Petit und Dulong, auf die specifische Wärme der einfachen Körper, nämlich daß das Produkt des Gewichts von einem jeden Atome mit der entsprechenden Wärmecapacität eine constante Größe ist, sobald als man die specifische Wärme eines Körpers kennt, ist es leicht, das Atomgewicht zu erhalten; obgleich aber dieses schöne Gesetz wirklich besteht, so bestätigt es sich nur zwischen gewissen Gränzen, wie dies Regnault zeigte, so daß man sich also vor den Induktionen hüten muß, die man daraus zieht.

Sind die Körper fest, so verfährt man folgendermaßen: wir wollen annehmen, daß die Verbindung zweier Körper aus der Vereinigung eines Atoms des einen mit einem Atome des andern entstehe; augenscheinlich muß das Verhältniß der Atomgewichte dasselbe sein, wie das des Gewichtes von jedem Körper. Indem wir eines von den Gewichten zur Einheit annehmen, so wird das andere das Gewicht eines Atoms als eine Funktion von dem des andern angeben. Wenden wir diese Regel auf das Bleioxydul an. 100 Theile Blei verbinden sich mit 7,725 Theilen Sauerstoff; indem man durch 100 das Atomgewicht des Sauerstoffs darstellt, so wird man für das des Bleis 1294,478 erhalten. Das Kupferoxyd besteht aus einem Atome Kupfer und einem Atome Sauerstoff;

da nun durch Reduktion 7,68075 Gr. Sauerstoff durch Wasserstoffgas, ein Gewichtsverlust von 1,55 Gr. von dem entrissenen Sauerstoffe entsteht, so folgt daraus, daß ein Atom Kupfer 395,695 wiegt. Nicht alle Verbindungen geben sich eben so leicht zu ähnlichen Rechnungen hin, denn man ist häufig über die wirkliche atomistische Zusammensetzung in Ungewißheit, welche man nur dadurch heben kann, daß man sich auf chemische Betrachtungen stützt, welche nicht hieher gehören. Wir wollen nun zu einem Beispiel von einer andern Gattung übergehen.

Nach der Volumentheorie besteht das Wasser aus zwei Volumen Wasserstoff und einem Volumen Sauerstoffgas, und folglich aus zwei Atomen Wasserstoff und einem Atome Sauerstoff. Da Berzelius fand, daß das Gewicht des Sauerstoffs gleich 88,904 und das des Wasserstoffs gleich 11,096, auf 100 Wasser sei, so schloß er daraus, daß sich das Gewicht des Wasserstoffs zu dem des Sauerstoff wie 1 : 8,012 verhalte; Dumas hat jedoch in einer neuern Arbeit über die Analyse des Wassers gezeigt, daß die Hypothese des Prout genau war, und daß, abgesehen von den Versuchsfehlern, das Verhältniß von 1 : 8 wäre, und daß man es für das der Atomgewichte annehmen müsse. Da nun die Analyse, wie man soeben gesehen hat, zu Gewichten 88,904 Sauerstoff und 11,096 Wasserstoff gegeben hat, und man durch 88,904 das Atomgewicht des Sauerstoffs darstellt, so wird das des Wasserstoffs gleich 11,096 oder 5,548 sein; stellt man das erste durch 100 dar, so hat das des zweiten 6,24 zum Werth. Es ist leicht durch Vergleichung verschiedener Verbindungen, in welchen sich dieselben Körper befinden, eine atomistische Tabelle aller Körper zu entwerfen. Da diese Arbeit in das Gebiet der Chemie gehört, so begnügen wir uns, in den folgenden Tabellen die Atomgewichte der einfachen Körper zu geben, deren wir

im Laufe dieses Werkes bisweilen nöthig haben werden.

Atomgewichte der einfachen Körper, nach Berzelius.

	Gewicht von			Gewicht von	
	zwei Atomen Wasserstoff = 1	einem Atom Sauerstoff = 100		zwei Atomen Wasserstoff = 1	einem Atom Sauerstoff = 100
Sauerstoff	8,01	100	Silber	108,30	1351,61
Wasserstoff	1	6,2398	Quecksilber	101,43	1265,82
Stickstoff	7,09	88,52	Kupfer	31,71	395,70
Schwefel	16,12	201,17	Uran	217,26	2711,36
Phosphor	15,72	196,14	Wismuth	17,07	886,92
Chlor	17,74	221,33	Zinn	58,98	735,29
Brom	39,20	489,15	Blei	103,73	1294,50
Jod	63,28	789,75	Cadmium	55,83	696,77
Fluor	9,37	116,90	Zink	32,31	403,23
Kohlenstoff	6,13	76,44	Nickel	29,62	369,68
Bor	10,91	136,25	Kobalt	29,57	368,99
Silicium	22,22	277,31	Eisen	27,18	339,21
Selen	39,63	494,58	Mangan	27,78	345,89
Arsenik	37,67	470,04	Magnesium	12,69	158,35
Chrom	28,19	351,82	Cerium	46,05	574,70
Molybdän	47,96	598 52	Thorium	59,83	744,90
Wolfram	94,80	1183,00	Zirkonium	33,67	420,20
Antimon	64,62	806,45	Yttrium	32,25	402,51
Tellur	64,25	801,76	Vanadium	68,66	856,89
Tantal	92,45	1153,72	Glucinium	26,54	331,26
Titan	24,33	303,66	Aluminium	13,72	171,17
Gold	99,60	1243,01	Calcium	20,52	256,02
Osmium	99,72	1244,49	Strontium	43,85	547,29
Iridium	98,84	1233,50	Barium	68,66	856,88
Platin	98,84	1233,50	Lithium	6,44	80,33
Palladium	53,36	665,90	Natrium	23,31	290,90
Rhodium	52,20	651,39	Kalium	39,26	489,92

Alle diese Atomgewichte sind nicht in ganzen Zahlen ausgedrückt. Dumas ist mit Prout der Ansicht, daß man die Brüche, weil sie innerhalb der Gränzen von Fehlern liegen, die man bei Bestimmung dieser Gewichte leicht begehen kann, weglassen könne. Wir geben hier nach ihm die Tabellen der Atomge-

wichte der einfachen Körper, indem wir den Wasserstoff durch 1 vorstellen, und bemerken, daß er das Wasser ansieht, als bestehe es aus einem Atome Sauerstoff und zwei Atomen Wasserstoff.

Tabelle der Atomgewichte der einfachen Körper, nach Dumas.

Wasserstoff . . . H 1

Sauerstoff . .	O 8	Phosphor . .	Ph 16
Schwefel . .	S 16	Arsenik . . .	As 38
Selen . . .	Se 40	Antimon . .	Sb 64
Tellur . . .	T 64		
		Kohlenstoff . .	C 6
Fluor . . .	Fl 9	Bor	B 11
Chlor . . .	Ch 18	Silicium . .	Si 22
Brom . . .	Br 39	Zirkonium . .	Zr 68
Jod	I 63	Kalium . . .	K 20
Gold . . .	Au 100	Natrium . .	Na 12
Platin . . .	Pl 98		
Iridium . .	Ir 98	Lithium . . .	Li 6
Palladium . .	Pa 53	Barium . . .	Ba 64
Osmium . .	Os 100	Strontium . .	Sr 44
Rhodium . .	R 52	Calcium . .	Ca 20
		Magnesium .	Mg 12
Silber . . .	Ag 54		
Quecksilber . .	Hg 100	Yttrium . . .	Y 32
Kupfer . . .	Cu 32	Cerium . . .	Ce 46
Blei	Pl 104	Thorium . .	Th 60
Wismuth . .	Bi 60	Glucinium . .	Gl 26
Zinn . . .	Sn 58	Aluminium . .	Al 14
Titan . . .	Ti 34	Mangan . .	Mn 28
Tantal . . .	Ta 92	Eisen . . .	Fe 27
Nickel . . .	Ni 30	Chrom . . .	Cr 28
Cobalt . . .	Co 30	Vanadium . .	Vn 68
Cadmium . .	Cd 56	Uranium . .	U 60
Zink	Zn 35	Wolfram . .	W 96
Stickstoff . .	Az 7	Molybdän . .	Mo 48

Wir wollen jetzt die Forschungen darlegen, welche gemacht worden sind, um zur Bestimmung der relativen Volumina der Atome und der Gesetze zu gelangen, nach welchen sich die festen und tropfbaren Verbindungen nach den Volumina richten.

Dumas ist einer von den ersten, welcher sich mit dem Untersuchen in Beziehung auf die Verhältnisse, die zwischen dem Atomgewichte und dem specifischen Gewichte der Metalle bestehen, beschäftigt hat. Er ging von dem Principe aus, daß, wenn das Gewicht zweier einfachen Körper mit gleichen Volumina und das ihrer Partikelchen bekannt wäre, man die Zahl ihrer Atome bei gleichem Massevolumen mit einander vergleichen könnte. Indem er also auf diese Weise durch D und d die Dichtheiten der beiden Körper durch P und p ihre Atomgewichte bezeichnet, so stellen $\frac{D}{P}$ und $\frac{d}{p}$ Mengen dar, welche der Zahl der Atome dieser beiden Körper unter demselben Volumen proportional sind. Wenn man durch N und n die Zahl der Atome bezeichnet, welche in dem Volumen, das zur Einheit angenommen wurde, enthalten sind, so hat man $D = NP$ und $d = np$, woraus man $N = \frac{D}{P}$ und $n = \frac{d}{p}$ erhält. Indem Dumas diesen Grundsatz auf verschiedene Beispiele anwandte, fand er, 1) daß das Eisen, das Cobalt, das Nickel, das Kupfer, das Mangan und der Kohlenstoff bei gleichem Volumen dieselbe Atomenzahl haben, was damit übereinstimmt, daß diese Metalle dasselbe specifische Volumen besitzen; 2) daß das Platin, das Palladium, das Rhodium, das Chrom, das Titan und das Zink dieselbe Eigenthümlichkeit zeigen, mit dem Unterschiede jedoch, daß ihr specifisches Volumen von dem der vorhergehenden Metalle verschieden ist; 3) daß es sich in dieser Beziehung auf das Molybdän, und Wolfram einerseits, und dem Blei, dem

Selen, dem Phosphor andererseits ebenso verhält. Diese Thatsachen, und die Folgerungen, welche sich daraus ergeben, finden sich im fünften Bande der letzten Ausgabe von Thenards Chemie, S. 445 und den folgenden.

Hermann Kopp hat kürzlich die Frage da, wo sie Dumas gelassen hatte, in einer neueren, herausgegebenen Denkschrift (Ann. de chimie et de physique t. IV. neue Folge p. 460) wieder aufgenommen. Die Resultate, welche in dieser Denkschrift enthalten sind, haben eine solche Wichtigkeit für die Physik der Moleküle, daß wir glauben, diejenigen anführen zu müssen, welche geeignet sind, uns über die Verhältnisse aufzuklären, welche zwischen den Verbindungen und ihren physischen Eigenschaften stattfinden.

Kopp nahm, wie Dumas, zum specifischen Volumen eines Körpers den Quotienten der Division des Atomgewichtes durch die Dichtheit dieses Körpers zu welchem dieses Atom gehört, an. Man findet in der folgenden Tabelle die Atomgewichte der einfachen Körper und die specifische Volumina, welche aus der Beobachtung und aus theoretischen Betrachtungen herrühren, so wie die Dichtheiten, welche beobachtet und nach den Angaben berechnet wurden, wie man sogleich angeben wird.

Substanzen		Atomgewichte	Ursprüngliches specifisches Volumen	Berechnete Dichtheit	Beobachtete Dichtheit
Antimon	Sb	806	120	6,72	6,70 Karsten; 6,6 Breithaupt; 6,85 Muschenbröck.
Arsenik	As	470	80	5,87	5,70, 5,96 Guibourt; 5,62 Karst.; 5,67 Herapath.
Blei	Pb	1294	114	11,35	11,33 Kupffer; 11,39 Karsten; 11,35 Herapath.
Brom	Br	489	160	3,06	2,99 Löwig; 2,97 Balard.
Cadmium	Cd	697	81	8,60	8,66 Herapath; 8,63 Karsten, Kopp; 8,60 Stromeyer.
Chlor	Cl	221	160	1,38	1,33 Faraday.
Chrom	Cr	352	69	5,10	5,10 Thomson.
Cobalt	Co	369	44	8,39	8,49, Brunner; 8,51 Berzelius; 8,71 Lampadius.
Cyan	Cy	165	160	1,03	Ungefähr 0,9 Faraday.
Eisen	Fe	339	44	7,70	7,6, 7,8 Broling; 7,79 Karsten.
Gold	Au	1243	65	19,1	19,26 Brisson.
Jod	I	789	160	4,93	495 Gay-Lussac.
Iridium	Ir	1233	57	21,6	19,5 Mohs; 23,5 Breithaupt.
Kalium	K	490	583	0,84	0,86 Gay-Lussac und Thenard; 0,87 Semintini.
Kupfer	Cu	396	44	9,00	8,96 Berzelius; 9,00 Muschenbröck; 8,72 Karsten.
Mangan	Mn	346	44	7,86	8,03 Bachmann; 8,01 John.
Molybdän	Mo	599	69	8,68	8,62, 8,64 Bucholz.
Natrium	Na	291	292	0,99	0,97 Gay-Lussac und Thenard.
Nickel	Ni	370	44	8,41	8,40 Tourte; 8,38 Tupputi; 8,60 Brunner.
Osmium	Os	1244	57	21,8	19,5 (?) Thenard.
Palladium	Pd	666	57	11,7	11,3 Wollaston; 12,1 Lowry.
Phosphor	P	196	111	1,77	1,77 Berzelius.
Platin	Pt	1233	57	21,6	21,0 Borda; 21,5 Berzelius; 23,5 Cloud.
Quecksilber	Hg	1266	93	13,6	13,6 Kupffer, Karsten, Cavallo.
Rhodium	R	651	57	11,4	11,0 Wollaston; 11,2 Cloud.
Schwefel	S	201	101	1,99	1,99, 2,05 Karsten; 1,99 Breith.
Selenium	Se	495	115	4,30	4,30, 4,32 Berz.; 4,31 Boullay.
Silber	Ag	1352	130	10,4	10,4 Karsten.
Titan	T	304	5	5,33	5,3 Wollaston; 5,28 Karsten.
Wismuth	Bi	1330	135	9,85	9,88 Thenard; 9,83 Herapath; 9,65 Karsten.
Wolfram	W	1183	69	17,1	17,2 Allan u. Aiken; 17,4 Bucholz.
Zink	Zn	403	58	6,95	6,92 Karsten; 6,86, 7,21 Berzelius.
Zinn	Sn	735	101	7,28	7,28 Herap.; 7,29 Kupff., Karsten.

Wir finden in dieser Tabelle mehrere von Dumas erhaltene Resultate wieder, weil die Metalle in verschiedene Gruppen, von welchen jede das nämliche specifische Volumen hat, getheilt werden können. Hier folgen diese Gruppen:

1) das Brom, das Chlor, das Cyan und das Jod;
2) das Chrom, das Molybdän und das Wolfram;
3) das Cobalt, das Kupfer, das Eisen, das Mangan und das Nickel;
4) das Iridium, das Osmium, das Palladium, das Platin und das Rhodium;
5) das specifische Volumen des Silbers ist das doppelte von dem des Goldes;
6) das specifische Volumen des Kaliums ist gleichfalls das doppelte von dem des Natriums. Aus der Gleichheit der Volumina in jeder Gruppe und aus dem Verhältnisse des Volumens von einer Gruppe zu einer andern kann man die Dichtheiten berechnen.

Man sieht in der vorhergehenden Tabelle, daß die berechneten und die beobachteten Dichtheiten dieselben sind; die Unterschiede sind so gering, daß sie einem Versuchsfehler zugeschrieben werden können. Wir wollen die Principien angeben, auf welche Kopp sich stützt, um die Dichtheiten der Verbindungen zu berechnen.

Seien A und B die Atomgewichte der beiden Stoffe, welche eine Verbindung mit einander eingehen, a und b die beobachteten Dichtheiten, so wird man $\alpha = \frac{A}{b}$, $\beta = \frac{D}{b}$ für die ursprünglichen specifischen Volumina der constituirenden Theile erhalten.

Wenn c die Dichtheit der Verbindung ausdrückt, so wird ihr Atomgewicht $= A + B$ sein, man hat demnach für ihr specifisches Volumen

$$\gamma = \frac{A + B}{c}$$

γ wird jedesmal $= \alpha + \beta$ sein, wenn während der

Bildung der Verbindung weder Zusammenziehung noch Ausdehnung entsteht; diese Bedingung wird jedoch selten erfüllt. Wenn auf der andern Seite eine Veränderung eintritt, so weiß man a priori nicht, auf welcher Seite diese Veränderung stattfand, d. h. man weiß nicht, welcher von diesen constituirenden Theilen es ist, der sich zusammengezogen oder ausgedehnt hat. Man hat also eine unbestimmte Gleichung zu lösen. Wir wollen hier die theoretischen Ansichten, die Kopp geleitet haben, anführen, um zur Erkenntniß dessen zu gelangen, was in diesem Umstande vorgeht; wir führen sie wörtlich an:

„Ein constituirender Theil kann in eine Verbindung eingehen, ohne daß irgend eine Veränderung seines specifischen Volumens nöthig ist, und jedesmal, wenn das specifische Volumen der Verbindung größer ist, als dasjenige des constituirenden Theiles, im isolirten Zustande. Das einfachste besteht darin, zu erforschen, welches die Resultate sind, die man bei der Annahme erhält, daß der eine von den constituirenden Theilen mit seinem ursprünglichen specifischen Volumen in die Verbindung eingehe. Schröder hat gefunden, daß man häufig denselben Rest als gesuchtes specifisches Volumen des gemeinschaftlichen constituirenden Theiles erhält, indem man von dem specifischen Volumen der Verbindungen das ursprüngliche specifische Volumen der entsprechenden constituirenden Theile abzieht. So übertreffen zum Beispiele die beobachteten specifischen Volumina von CdO, CuO, HgO, PbO, ZnO alle um die nämliche Zahl die ursprünglichen specifischen Volumina von Cd, Cu, Hg, Pb, Zn. Indem wir also annehmen, daß in den analogen Verbindungen die entsprechenden constituirenden Theile mit ihrem ursprünglichen specifischen Volumen enthalten sind, so reicht eine einzige Annahme für das specifische Volumen des gemeinschaftlichen constituirenden Theiles hin, um die Bildung

des specifischen Volumens aller Verbindungen zu erklären. Indem man von dem specifischen Volumen mehrerer analoger Verbindungen das ursprüngliche specifische Volumen des darin enthaltenen Metalls abzieht, gelangt man beinahe immer zu demselben Reste (welcher als das specifische Volumen des gemeinschaftlich constituirenden Theiles angesehen werden muß), wenn das Metall, das in der Verbindung enthalten ist, eines von den Metallen Antimon, Silber, Wismuth, Cadmium, Cobalt, Kupfer, Zinn, Mangan, Quecksilber, Molybdän, Nickel, Gold, Platin, Blei, Titan, Wolfram, Zink ist. Was zu der Annahme führt, daß diese Metalle immer eine Verbindung ohne Aenderung des ursprünglichen specifischen Volumens eingehen. Daraus erfährt man zu gleicher Zeit, welche Zahl man als das specifische Volumen für den gemeinschaftlich constituirenden Theil annehmen müsse, der in analogen Verbindungen dieser Metalle enthalten ist. Dagegen darf man in den Verbindungen anderer Metalle, (Barium, Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Strontium, u. s. w.), welche man seit langer Zeit von den vorhergehenden trennte, durchaus nicht annehmen, daß das Metall mit seinem ursprünglich specifischen Volumen darin enthalten sei, denn dasselbe ist, wie man weiß, immer größer, als das specifische Volumen der Verbindung. Um zu bestimmen, welches das specifische Volumen ist, das man für diese Metalle, welche in die Verbindungen eingegangen sind, annehmen müsse, so ist das Einfachste, daß man annimmt, das specifische Volumen des gemeinschaftlich constituirenden Theiles sei dasselbe in den Verbindungen der Metalle Antimon, Silber u. s. w. wie in den Verbindungen der Metalle Barium, Kalium u. s. w.; daß man ferner annehme, daß das specifische Volumen, welches für eines dieser letzteren Metalle hypothetisch angenommen wurde, das=

selbe in allen analogen Verbindungen dieses Metalls sei. Auf diese Weise habe ich die Constitution des specifischen Volumens für Verbindungen bestimmt, die am gründlichsten untersucht wurden. Ich fange mit der Entwicklung dieser Begriffe über die Constitution der festen oder flüssigen Körper nach dem Volumen dadurch an, daß ich die Zusammensetzung der Salze erkläre, weil wir auf diese Weise mehrere Klassen analoger Verbindungen betrachten können. In dieser Abhandlung nehme ich die Theorie der Wasserstoffsäuren, welche zuerst von Davy aufgestellt, von Dulong und in der neuesten Zeit von Liebig vertheidigt worden ist, zur Grundlage an. Nehmen wir folgende Voraussetzungen an:

„Jedes Metall ist in den Salzen, das es bilden kann, mit demselben Atomvolumen enthalten, nämlich:

„Einige, wie Antimon, Silber, ... Zink mit ihren ursprünglichen specifischen Volumina, wie sie weiter oben angegeben worden sind.

„Einige, wie Barium, Kalium mit einem andern ursprünglichen Volumen; wir nehmen für diese Metalle, welchen in den Salzen enthalten sind, folgende specifische Volumina an:

Ammonium ist in seinen Salzen mit dem specifischen Volumen			Am = 218	enthalten
Barium	—	—	Ba = 143	—
Kalcium	—	—	Ca = 60	—
Magnesium	—	—	Mg = 40	—
Kalium	—	—	K = 234	—
Natrium	—	—	Na = 130	—
Strontium	—	—	Sr = 108	—

Gehen wir jetzt zur Constitution der Salze über. Um die Dichtheit der Carbonate zu erklären, nimmt man an, daß das Radikal CO^3 in seine Verbindungen mit dem specifischen Volumen 151 eingehe.

Indem man diese Annahme mit den specifischen Volumina der Metalle verbindet, welche in Salzen enthalten sind, wie man sie soeben bestimmte, so erhält man die Constitution des specifischen Volumens der Carbonate, und man gelangt zu folgenden berechneten Dichtheiten:

Carbonate	Atomgewichte	Formel	Berechnetes specifisches Volumen	Berechnete Dichtheit	Beobachtete Dichtheit
Silber	1728	$Ag + CO^3$	130 + 151 = 281	6,15	6,08 Karsten.
Cadmium	1073	$Cd + CO^3$	81 + 151 = 232	4,63	4,42 Herapath; 4,49 Karsten.
Eisen	715	$Fe + CO^3$	44 + 151 = 195	3,67	3,83 Mohs; 3,87 Neumann.
Mangan	722	$Mn + CO^3$	44 + 151 = 195	3,70	3,55, 3,59 Mohs.
Blei	1670	$Pb + CO^3$	114 + 151 = 265	6,30	6,43 Karsten; 6,47 Breithaupt.
Zink	779	$Zn + CO^3$	58 + 151 = 209	3,73	4,44 Mohs; 4,4, 4,5 Neumann.
Baryt	1233	$Ba + CO^3$	143 + 151 = 294	4,19	4,30 Karsten; 4,24 Breith.; 4,30 Mohs.
Kalk	632	$Ca + CO^3$	60 + 151 = 211	3,00	Arragonit 3,00 Breithaupt; 2,93 Mohs. Kalkspath 2,70 Karsten; 2,72 Beudant.
Magnesia	534	$Mg + CO^3$	40 + 151 = 191	2,80	2,81 Breithaupt; 3,00, 3,11 Mohs; 2,88, 2,97 Neumann.
Kali	866	$K + CO^3$	234 + 151 = 385	2,25	2,26 Karsten.
Natron	667	$Na + CO^3$	130 + 151 = 281	2,37	2,47 Karsten.
Strontian	923	$Sr + CO^3$	108 + 151 = 259	3,56	3,60 Mohs; 3,62 Karsten.
Dolomit	1166	$Mg + CO^3$ / $Ca + CO^3$	40 + 151 / 60 + 151 = 402	2,90	2,88 Mohs.
Mesitin	1250	$Mg + CO^3$ / $Se + CO^3$	40 + 151 / 44 + 151 = 386	3,24	3,35 Mohs.

Nitrate	Atomgewichte	Formel	Berechnetes specifisches Volumen	Berechnete Dichtheit	Beobachtete Dichtheit
Silber	2129	$AgO + N^2O^5$	130 + 358 = 488	4,36	4,36 Karsten.
Blei	2071	$PbO + N^2O^5$	114 + 358 = 472	4,40	4,40 Karst.; 4,77 Breithaupt; 4,34 Kopp
Ammoniak	1004	$AmO + N^2O^5$	218 + 358 = 576	1,74	1,74 Kopp.
Baryt	1634	$BaO + N^2O^5$	143 + 358 = 501	3,20	3,19 Karsten.
Kali	1267	$KO + N^2O^5$	234 + 358 = 592	2,14	2,10 Karsten; 2,06 Kopp.
Natron	1068	$NaO + N^2O^5$	130 + 358 = 488	2,19	2,19 Marx; 2,20 Kopp; 2,26 Karsten.
Strontian	1324	$SrO + N^2O^5$	108 + 358 = 466	2,84	2,89 Karsten.

Sulfate	Atomgewichte	Formel	Berechnetes specifisches Volumen	Berechnete Dichtheit	Beobachtete Dichtheit
Silber	1953	$AgO + SO^3$	130 + 236 = 366	5,34	5,34 Karsten.
Kupfer	997	$CuO + SO^3$	44 + 236 = 280	3,56	3,53 Karsten.
Zink	1004	$ZnO + SO^3$	58 + 236 = 294	3,42	3,40 Karsten.
Kalk	857	$CaO + SO^3$	60 + 236 = 296	2,90	2,96 Neumann; 2,93 Karsten.
Magnesia	759	$MgO + SO^3$	40 + 236 = 276	2,75	2,61 Karsten.
Natron	892	$NaO + SO^3$	130 + 236 = 366	2,44	2,46 Mohs; 2,63 Karsten.

Die Annahme, welche Kopp für das specifische Volumen CO^3 zu Grund gelegt hatte, wird durch die Uebereinstimmung gerechtfertigt, welche zwischen den Resultaten des Kalküls und denen der Beobachtung stattfindet. Nur die berechnete Dichtheit des schwefelsauren Zinks ist von derjenigen verschieden, welche man durch die Beobachtung erhalten hat; was eine zweite Annahme für das specifische Volumen von CO^3 erheischen wird.

Was die Nitrate anbetrifft, so nimmt Kopp an, daß das specifische Volumen des Radikals $N^2O^5 = 358$ sei; diese Annahme erklärt die Dichtheit aller Nitrate, welche wirklich geprüft worden sind.

(Siehe Tabelle neben.)

Die Dichtheit mehrerer Sulfate führt zu der Annahme, daß das Radikal SO^4 mit dem specifischen Volumen $= 236$ darin enthalten ist. Folgendes sind die Resultate, welche nach dieser Annahme berechnet und mit den Beobachtungen verglichen worden sind.

(Siehe Tabelle neben.)

Die Dichtheit einiger Sulfate kann durch die Annahme, wo das specifische Volumen des Radikals $SO^3 = 236$ sein würde, nicht erklärt werden.

Kopp nahm an, daß es zwei Modifikationen von schwefelsauren Salzen gebe, welche nicht dieselbe Constitution nach den Volumina haben. In der That ist bei der ersten dieser Modifikationen das Radikal SO^4 in der Dichtheit mit einem specifischen Volumen $= 236$ enthalten; im zweiten muß es mit einem specifischen Volumen $= 186$ enthalten sein. In dieser letzten Modifikation befinden sich die Sulfate von Blei, Baryt, Kali und Strontian.

Kopp hat sich derselben Prüfung in Beziehung auf die Chromate, Wolframate und die Chlorüre mit gleichem Erfolge unterzogen.

Für die Chromate muß man das specifische Vo-

lumen von $CrO^3 = 228$; für die Wolframate das von $WO^3 = 244$ annehmen. Für die Chlorüre gibt es zwei Modifikationen; bei der einen muß man annehmen, daß das Radikal Cl^2 ein specifisches Volumen $= 196$ habe; diese Modifikation umfaßt die Chlorüre von Silber, Blei, Barium und Natrium; bei der zweiten Modifikation muß man das specifische Volumen des Radikals $Cl^2 = 245$ voraussetzen.

Indem man so fortfährt, gelangt man zur Erklärung der Dichtheit beinahe aller bekannten Salze vermittest einer geringen Anzahl von Voraussetzungen. Kopp hat sich hierauf mit der Constitution des specifischen Volumens der Oxyde beschäftigt und zuerst derjenigen, von denen man annimmt, daß sie in ihren Verbindungen mit ihrem ursprünglichen specifischen Volumen enthalten seien. Nimmt man an, daß das specifische Volumen des enthaltenen Sauerstoffs $= 32$ ist, so kann man die Dichtheit der Oxyde, welche zu den folgenden Metallen gehören, erklären: Antimon, Wismuth, Cadmium, Cobalt, Kupfer, Zinn, Eisen, Mangan, Quecksilber, Molybdän, Blei, Titan, Zink. Es findet allein bei den Oxydulen des Zinns und des Mangans, den Molybdänoxyd- und Bleisuperoxyd-Zusammensetzungen, für welche die Versuche seit langer Zeit gemacht worden sind, keine Uebereinstimmung Statt.

Die Oxyde von Antimon, Zinn und Chrom verlangen, daß man für das specifische Volumen des Sauerstoffs 64 annehme.

Es gibt endlich andere Oxyde, wie z. B. $2Cu,O$, $2Hg,O$, Ag,O, welche verlangen, daß man 64 specifisches Volumen des Sauerstoffes nehme.

Kopp hat auf dieselbe Weise die Dichtheit der Verbindungen des Schwefels, des Arseniks u. s. w. mit den Metallen erklärt.

Die Methode, vermittelst welcher man das specifische Volumen der Körper bestimmte, und welche

dazu diente, die Gesetze, die wir soeben erklärt haben, zu finden, ist jedoch nicht vor jedem Einwurfe sicher. Man hat wirklich für dieses Volumen den Quotienten des Atomgewichtes durch die Dichtheit angenommen; aber da diese sich mit der Temperatur verändert, so erleidet der Quotient entsprechende Veränderungen, so daß man nicht das absolute specifische Volumen erhält. Wenn indessen die Temperaturveränderungen in ziemlich ausgedehnten Gränzen die Dichtheit der Körper nicht genug veränderten, um bedeutende Unterschiede in dem Werthe des specifischen Volumens hervorzubringen, so würde folgen, daß die erhaltenen Bestimmungen wenig von denen verschieden sein würden, welche man an der Gränze erhalten hätte, d. h. bei der Temperatur, wo die Moleküle der Körper aufhören, sich auf eine für unsere Instrumente merkbare Weise zu nähern. Die eine von diesen Bestimmungen, welche bei einer passenden Temperatur gemacht wurde, kann demnach als genäherter Werth für das specifische Volumen angenommen werden. Wir wollen zu diesem Ende die Veränderungen betrachten, welche in der Dichtheit der Körper vorgehen; in den Metallen z. B., wenn man ihre Temperatur verändert. Das Blei hat bei einer Temperatur von ungefähr 10 Graden eine Dichtheit = 11,3523, seine kubische Ausdehnung von 0 bis 100 Grad beträgt $^1/_{351}$; seine Dichtheit wird demnach bei 30 Graden gleich 11,333 sein, d. h. sie wird um $^{19}/_{1000}$ von der vorhergehenden verschieden sein. Das specifische Volumen des Bleis, welches im ersten Falle 114,03 war, wird im zweiten Falle 114,22 sein. Das Kupfer hat zur Dichtheit bei der nämlichen Temperatur 8,7880; seine Ausdehnung von 0 bis 100 Grad ist $^3/_{524}$, folglich wird bei 30 Grad sein Dichtheit gleich 8,778 sein, welche von der vorhergehenden um $^1/_{100}$ verschieden ist. Im ersten Falle ist das specifische Volumen 45,02, im zweiten Falle 45,09.

Wir sehen, daß in den Metallen der Unterschied zwischen den specifischen Volumina bei Temperaturen von 10 bis zu 30 Graden nicht groß genug ist, um zu verhindern, daß man nicht als Näherungswerth des specifischen Volumens einen von denen nehme, welche man erhalten hat. Bei den Stoffen, welche schlechte Wärmeleiter sind, ist der Fehler, welchen man begeht, noch geringer, indem man für das specifische Volumen bei der gewöhnlichen Temperatur den erhaltenen Werth nimmt. Nehmen wir z. B. den isländischen Spath; wenn man seine Temperatur von 0 bis 100 Grad verändert, so findet man, daß sich die Dichtheit in dem Verhältnisse von 1,00196 zu 1 verändert, woraus man schließt, daß das specifische Volumen von 232,36 bis zu 232,80 geht, ein Unterschied, welcher die Zehntel betrifft. Man sieht daraus, daß man, indem man die Dichtheit bei niederen Temperaturen nimmt, für das specifische Volumen einen Werth erhalten könne, der sich von demjenigen, welchen man an der Gränze erhalten würde, wenig entfernt. Obgleich man also keinen streng genauen Werth erhält, so kann man dennoch die Gesetze wahrnehmen, die vorher in Kopps Resultaten angegeben wurden, Gesetze, welche die Constitution der Verbindungen nach den Volumina leiten.

Die Constitution der festen oder liquiden Verbindungen nach den Volumina, welche aus Kopps Gesichtspunkte betrachtet werden, wird uns dazu dienen, die richtigen Gränzen der Theorie des Isomorphismus, von dem wir bald reden werden, anzugeben; aber unterdessen wollen wir bemerken, daß die Annahmen, woraus er entspringt, um die Dichtheit der chemischen festen oder tropfbarflüssigen Verbindungen zu berechnen, auf Resultate führen, welche so zu sagen mit denen der Beobachtung identisch sind, und die man nothwendig in Erwägung ziehen muß. Ueber-

dies werden wir bei dem Isomorphismus darauf zurückkommen.

Von den krystallo-atomischen Theorien.

Da die Verbindung in bestimmten Verhältnissen nach Atomen und nicht nach Bruchatomen stattfindet, so handelt es sich davon, zu zeigen, wie man es sich denken könne, daß diese Atome, indem man ihnen eine sphärische Gestalt beilegt, durch ihre Gruppirung, Moleküle bilden können, deren regelmäßige Anordnung geometrische Gestalten erzeugt, welche Krystalle genannt werden. Man kann viele Theorien erfinnen, um ähnliche Gruppirungen zu erklären; man darf aber nur denjenigen Wichtigkeit beilegen, welche sich auf die Resultate der chemischen Analyse, und die physischen Eigenschaften der Körper, die aus diesen Gruppirungen entspringen, stützen.

Ampere schlug zuerst diesen Weg in seiner krystallo-atomischen Theorie ein, welche den Vorzug hat, daß sie, während sie die Krystallgestalten der Körper erklärt, wegen der Bedingungen, welchen diese Formen unterworfen sind, angibt, ob eine Verbindung möglich ist oder nicht. Diese Theorie ist ferner auf das Princip gegründet, daß, da die Moleküle der Körper durch die Wirkung der attraktiven und repulsiven Kräfte in unendlich großen Entfernungen in Beziehung zu ihren Dimensionen gehalten werden, ihre Gestalt keinen Einfluß auf die Eigenschaften dieser Körper haben könne, da diese demnach nur von der Zahl und der Gruppirung der Moleküle abhängen müssen.

Wir wollen hier die Ansicht Ampere's mittheilen: Die Moleküle werden von den Elementarpartikelchen gebildet, und da jeder Raum wenigstens drei Dimensionen hat, so muß jedes von ihnen wenigstens aus vier Partikelchen bestehen, weil man, um einen Raum zu beschreiben, wenigstens vier Ebenen haben

muß, von denen eine jede durch die Schwerpunkte von dreien dieser Partikelchen geht. In dem Falle, wo die Moleküle eine größere Anzahl von Partikelchen oder Atomen enthalten, geht jede der Ebenen, welche ihr Volumen begränzen, durch die Schwerpunkte dreier Atome und läßt alle anderen Atome auf einer und derselben Seite, sonst würde es in den Krystallen keine eingehenden Winkel geben. Man kann auf diese Weise Polyeder bilden, welche die Moleküle der Körper darstellen. Wir wollen nun zu den Anwendungen schreiten.

Bei den einfachen oder zusammengesetzten Gasen werden die Moleküle durch die expansive Kraft der Wärme in weit größeren Entfernungen als diejenigen gehalten, wo die Affinität, die Adhäsion ihre Wirkung äußern. Diese Entfernungen können demnach nur von der Temperatur und dem Drucke abhängen, woraus hervorgeht, daß bei gleichen Temperaturen und Drucken die Moleküle aller Gase in derselben Entfernung stehen, und daß ihr Volumen dem der Gase proportional sein müsse; da es aber vorkommt, daß die Gase in den Verbindungen nur ein Halbvolumen bilden, und daß man die Theilbarkeit der Partikelchen oder Atome nicht annehmen kann, so nimmt Ampere mit Recht an, daß die Moleküle der einfachen Gase, wie z. B. der Sauerstoff, der Wasserstoff, der Stickstoff, aus einer hinreichenden geraden Anzahl von Atomen bestehe, damit alle bekannten Verbindungen diesen Bedingungen Genüge leisten können. Die einfachste Voraussetzung ist die, anzunehmen, daß die Moleküle dieser Gase aus vier Atomen bestehen; das Moleküle des Stickstoffoxydulgases würde demnach aus zwei Partikelchen Sauerstoff und zwei Atomen Stickstoff bestehen; die des Stickoxydgases aus vier Atomen Stickstoff und zwei Atomen Sauerstoff, die des Wasserdampfes aus vier Atomen Wasserstoff und zwei Atomen Sauerstoff, die des Ammoniakgases aus sechs

Atomen Wasserstoff und zwei Atomen Stickstoff. Was die Moleküle des Chlors anbetrifft, so kann man ihre Verbindungen nur dadurch erklären, daß man annimmt, sie bestehen aus acht Atomen und so fort. Um vier, sechs, zwölf Atomen u. s. w. so zu gruppiren, daß sie Tetraeder, Octaeder, Parallelepipeden und die Säule, das Rhomben-Dodecaeder bilden, schließt man auf folgende Art:

Nehmen wir zwei Atome, welche durch eine Linie vereinigt sind, und zwei andere Atome, die auf die nämliche Weise in derselben Ebene angeordnet sind, so daß die beiden Linien sich in zwei gleiche Theile und unter rechten Winkeln schneiden. Wenn man diese beiden Linien entfernt, indem man sie immer in derselben Ebene in einer parallelen Lage hält, so wird man ein regelmäßiges Tetraeder erhalten, wenn die beiden Linien, die einander gleich sind, um eine Entfernung getrennt worden sind, die sich zu ihrer Länge $= 1 : \sqrt{2}$ verhält. Wenn man jetzt drei Atome, welche durch Linien, die irgend ein Dreieck bilden, verbunden sind, und man in dieselbe Ebene ein anderes dem ersten gleiches Dreieck legt, dessen Lage so ist, daß die zwei Dreiecke ihren Schwerpunkt in dem nämlichen Punkte haben und ihre gleichen Seiten beziehungsweise parallel mit ihrer ursprünglichen Lage sind, so erhält man die sechs Ecken eines Octaeders, welches nur in dem Falle regelmäßig ist, wo die Dreiecke gleichseitig sind, und wenn man sie senkrecht zu ihrer Ebene um eine Größe entfernt, die sich zu ihren Seiten

$$= \sqrt{2} : \sqrt{3}$$

verhält.

Indem Ampere den nämlichen Weg einschlug, zeigte er, daß ein Parallelepipedon aus der Vereinigung zweier Tetraeder gebildet wird: wenn dieselben regelmäßig gebildet sind, so wird das Parallelepipedon

ein Kubus; daß eine sechsseitige Säule aus der Vereinigung zweier Octaeder entstehen könne, und daß man durch die Verbindung von zwei Tetraedern und einem Octaeder ein Dodecaeder erhalte; daß das Octaeder, welches auf eine gewisse Art mit dem Tetraeder verbunden ein Hexadecaeder gebe, das aus vier gleichseitigen und zwölf gleichschenkligen Dreiecken besteht; daß zwei Octaeder, welche zu einer sechsseitigen Säule vereinigt sind, sich zu zwei Tetraedern, die einen Würfel bilden, vereinigen und einen Polyeder mit zwanzig Ecken geben können, der aus sechs Rechtecken und vierundzwanzig gleichschenkligen Dreiecken besteht. Als Ampere auf diese Art die Verbindungsweise verschiedener Körper fortsetzte, ist es ihm gelungen, Polyeder von vierundfünfzig Flächen, von sechsundsechzig Flächen, von achzig Flächen und sogar darüber hinaus zu erhalten, welche die verschiedenen Anordnungen der Atome aller Körper, deren Anzahl durch den Versuch bestimmt ist, vorstellen; durch diese Bestimmung erhält man wirklich die polyedrische Gestalt, welche dem Molekül entspricht, aber ist dies wohl die Gestalt des Moleküls? Welchen Beweis gibt Ampere davon? Keinen. Er hat nicht untersucht, ob das Krystallsystem einer Verbindung mit dem Principe des constituirenden Moleküles, welches nach seinen theoretischen Ansichten bestimmt worden ist, übereinstimmt. Bei Verfolgung der Deduktion dieser Theorie findet man jedoch, wenn man die Verbindungen des Wasserstoffs und des Sauerstoffs mit verschiedenen Körpern mit Ausnahme des Chlors und des Schwefels, deren Verbindungen mit dem Wasserstoffe eine Säure bilden, vergleicht, daß eine und dieselbe Menge eines Körpers, welche fähig ist, sich mit dem Wasserstoffe zu vereinigen, sich mit demselben auf eine Weise verbindet, daß im Allgemeinen in jedem Theile der Verbindung vier Atome Wasserstoff mehr sind, als sich Atome Sauerstoffgas in der entsprechenden Verbindung des-

selben Körpers mit diesem letzteren Gase befinden; als Prüfungsmittel der Theorie kann man, da die Zusammensetzung der Körper bekannt ist, die Mengenverhältnisse von Säure, Base und sogar von Krystallwasser bestimmen, welche in den sauren, neutralen und basischen Salzen einer und derselben Art enthalten sein müssen, oder wenn man die vertretenden Gestalten der Moleküle der Säure und der Base kennt. Wenn man z. B. die Gestalt der Partikelchen der Schwefelsäure betrachtet, eine Gestalt, welche durch die Zahl der Atome, welche in ihre Verbindung, gemäß der oben angegebenen Ansichten, kommen, bestimmt ist, so findet man nach dem Versuche, daß größtentheils die basischen schwefelsauren Salze, dreimal mehr Base, als die neutralen enthalten müssen, und daß die Menge der Schwefelsäure in den sauren schwefelsauren Salzen das Doppelte von der der neutralen schwefelsauren Salze ist, während die schweflige Säure nach der darstellenden Form ihrer Moleküle mit dem Ammoniak ein saures Salz bildet, wo es in größerer Menge als in dem neutralen schwefelsauren Salze vorkommt. Man sieht daraus, daß die geometrischen Betrachtungen Ampere's, welche auf die atomische Zusammensetzung der Körper gegründet sind, Prüfungsmittel haben, an welchen sich diejenigen üben können, welche sich für diese Gattung von Forschungen interessiren. Die Ansichten, welche wir soeben auseinander gesetzt haben, sind gewiß sehr geistreich und von der Art, daß sie in Erwägung gezogen werden müssen, weil sie auf der Zusammensetzung der Körper in atomischen Verhältnissen beruhen, aber sie haben jedoch den Nachtheil, daß sie in die Wissenschaft als Molekülegestalt sehr complicirte Polyeder aufnehmen, deren Struktur ohne ein tiefes Studium sehr schwer aufzufassen ist. Andererseits hat sich Ampere mehr darauf gelegt, der atomischen Zusammensetzung Genüge zu leisten, als zu prüfen, ob seine

Molekularform mit denen der Moleküle der Körper, welche man krystallisirt erhalten kann, übereinstimmen. Um diesen beiden Nachtheilen zu begegnen, suchte Gaudin, indem er wie Ampere die Halbatome vermied und dem Gesetze der Symmetrie und der atomischen Zusammensetzung Genüge leistete, die Gestalten der Moleküle durch Polyeder darzustellen, die nicht so complicirt wären, als diejenigen, von denen vorher die Rede war, indem er sich zu beweisen bestrebte, daß in den möglichen Prüfungsfällen diese Formen mit denen der Natur übereinstimmen. Diese Modifikationen der Theorie Ampere's verdienen berücksichtigt zu werden.

Wir geben hier die Principien, welche Gaudin zur Grundlage für die Gruppirung der Partikelchen gedient haben:

1) Die Atome kommen nie in Contakt.
2) Ihre Entfernung verändert sich nach den Schwingungen, die sie unaufhörlich machen.
3) In den Verbindungen findet ein allgemeines Gemische der Atome Statt.

Die Atome, welche mit einer starken elektro-chemischen Kraft begabt sind, nehmen jedoch die Hauptrichtungen in dem constituirenden Molekül ein, so bilden das Blei u. s. w., das Kalium u. s. w., und nie der Wasserstoff, der Stickstoff u. s. w., den Kern des Moleküls.

4) Wenn mehrere identische Atome in einer Ebene um ein anderes Atom sich gruppiren, so geschieht es immer in der Zahl 2, 3, 4, 6 oder 12; die Zahlen 5, 7, 9 sind ausgeschlossen. Die gewöhnlichsten sind 4, 6, 8. In dem Falle, wo das Hauptatom das eines Metalles ist und die anderen, die des Sauerstoffes sind, so erhält man dadurch, daß man sie durch gerade Linien verbindet, Polyeder von 4, 6 und 8 Seiten.

Wir wollen hier einige Beispiele der Gruppirung

angeben. Ein Volumen Chlor bildet bei seiner Verbindung mit einem Volumen Wasserstoff zwei Volumina salzsaures Gas. Es muß demnach ein Partikelchen Chlor bei seiner Verbindung mit einem Partikelchen Wasserstoff zwei Partikelchen salzsaures Gas erzeugen. Diese Verbindung kann nach Gaudin nur durch die Annahme vor sich gehen, daß die Partikelchen fähig sind, sich in zwei Theile zerlegen zu lassen. Man muß demnach annehmen, um dem Gesetze der Zusammenzusetzung zu genügen, daß das Partikelchen aus einer geraden Anzahl von Atomen bestehe, wie es Ampere angegeben hat. Gaudin hat diese Zahl für die Partikelchen des Chlors und des Wasserstoffs auf zwei festgesetzt.

Auf gleiche Weise gibt ein Volumen Sauerstoffgas bei seiner Verbindung mit zwei Volumen Wasserstoffgas zwei Volumina Wasserdampf. Es muß sich demnach jedes Atom Sauerstoff zwei Atome Wasserstoff zueignen. Das Partikelchen Wasser besteht daher aus drei Atomen, was erfordert, daß das Partikelchen Sauerstoff ein Doppelatom sei. Durch analoge Betrachtungen findet man, daß die Partikelchen des Kohlenstoffs und der Metalle atomisch, die des Posphors im Dampfzustande tetratomisch, die des Schwefels hexatomisch sind.

Wir wollen die Folgerungen, die man aus den theoretischen Ansichten Ampere's, die von Gaudin modifizirt wurden, ziehen kann, nicht weiter treiben; weil wir nur die Bemühungen, die man angestellt hat, um zur Erkenntniß der Gestalt der Moleküle dadurch zu gelangen, daß man sich auf die atomische Zusammensetzung, das Gesetz der Symmetrie und sogar auf die Krystallgestalt einiger Körper stützte, angeben und den Weg anzeigen wollten, welchen man bei Forschungen dieser Gattung einschlagen müsse. Obgleich man sich vor Deduktionen, welche man aus der Theorie, die wir so eben auseinander setzten,

ziehen kann, hüten muß, so haben wir dennoch, da sie auf Thatsachen gegründet ist, welche sie fast alle umfaßt, ihr eine Stelle in dieser Abhandlung geben müssen.

Nachdem, was wir so eben gesehen haben, sieht man leicht ein, daß man die Atome auf viele Arten gruppiren könne, um daraus integrirende Moleküle zu bilden und hierauf zu krystallinischen Formen zu gelangen. Baudrimont hat auch einen derartigen Versuch angestellt, wir wollen seine Ansichtsweise, welche ebenfalls auf die Principien Ampere's gegründet ist, mittheilen.

Wenn die Atome sich ordnen, um ein integrirendes Molekül zu bilden, so gruppiren sie sich regelmäßig. Sobald die integrirenden Moleküle ziemlich von einander getrennt sind, um sich frei zu bewegen und sich langsam zu nähern, so bilden sich daraus krystallisirte Zusammensetzungen; woraus folgt, daß die Gestalten dieser letzteren von der Zahl und von der Anordnung der Atome abhängen müssen; folglich kann die Natur der Atome sich ändern, ohne daß die der Moleküle wechseln kann. Nehmen wir z. B. Jodkalium, dessen Formel I^2K ist; diese Verbindung krystallisirt in Würfeln. Chlorkalium, das eine ähnliche Formel Cl^2K hat, krystallisirt auf dieselbe Art. Die Carbonate, deren Formel die nämliche ist, krystallisiren im rhomboeder'schen Systeme; nur die Winkel des Rhomboeders zeigen einige Differenzen. Wir sehen jetzt, indem wir immer der Methode Baudrimonts folgen, wie sich die Atome, wenn die Zusammensetzung und die Krystallgestalt einer Verbindung bekannt sind, gruppiren müssen, um diese Krystallgestalt zu bilden. Nehmen wir z. B. das Schwefelblei, welches im kubischen Systeme krystallisirt und dessen Formel S^1Pb ist; nun können zwei gleiche Atome keinen Würfel bilden, weil man wenigstens acht, vier von jeder Art, haben muß, welche auf je-

der von den Flächen auf folgende Weise geordnet sind: $-\frac{SP}{PS}$; alsdann besteht das Molekül aus vier Atomen. Wenn man das Kochsalz, Cl^2Na, betrachtet, so muß man eine Zahl von Atomen nehmen, welche hinreicht, um einen Würfel zu bilden; die einfachste Annahme ist nun die, neun Atome von diesem Chlorür anzunehmen, nämlich neun vom Natrium und achtzehn von Chlor. Diese Elemente sind dann auf folgende Art für den ersten Schnitt angeordnet:

Na. Cl. Na.
Cl. Cl. Cl.
Na. Cl. Na.

Der dritte Schnitt ist wie der erste. Diese Methode, welche ziemlich rationell scheint, zeigt, daß die chemischen Formeln nur das Zahlverhältniß der Atome ausdrücken. Nehmen wir ein anderes Beispiel aus der organischen Chemie. Der Kampher, welcher im kubischen Systeme krystallisirt, hat zur Formel $C^{10}H^{16}O$; da nun die Summe der Atome gleich siebenundzwanzig ist, so ist dies genau die Zahl, welche zur Bildung des Würfels erforderlich ist. Diese Beispiele sind hinreichend, um einen Begriff von der Methode des Baudrimont zu geben.

Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Becquerel, Antoine César,

Populäre Naturlehre mit besonderer Rücksicht auf die Chemie und verwandten Wissenschaften in neun Theilen

Bd.: 2

Stuttgart (1845)

Phys.g. 602 p-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10132327-2